

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-100627

(43)Date of publication of application : 05.04.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/316

H01L 21/31

H01L 29/78

(21)Application number : 2001-017620

(71)Applicant : TOKYO ELECTRON LTD

(22)Date of filing : 25.01.2001

(72)Inventor : JINRIKI HIROSHI  
AOYAMA SHINTARO  
IGETA MASANOBU

(30)Priority

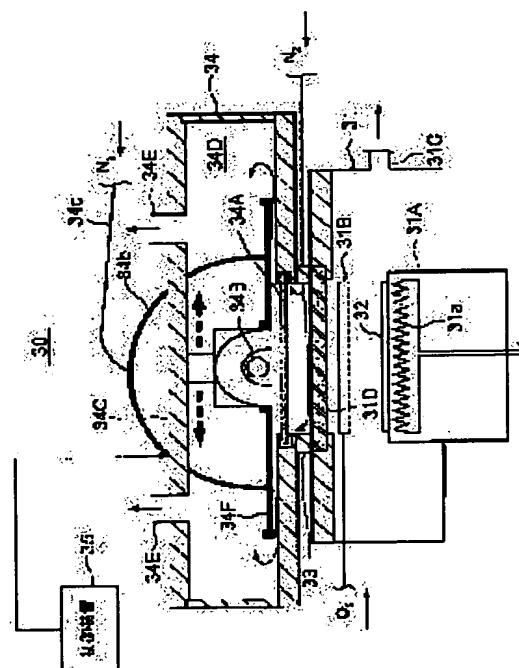
Priority number : 2000221172 Priority date : 21.07.2000 Priority country : JP

## (54) METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE, APPARATUS AND SYSTEM FOR PROCESSING SUBSTRATE

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To uniformly form a SiO<sub>2</sub> film on a Si substrate with a thickness of 1.5 nm or less by ultraviolet rays activated and oxidized process.

**SOLUTION:** An ultraviolet rays source is movably provided adjacent to an optical window provided on a processing container holding a substrate to be processed. A position and a driving energy of the ultraviolet ray source are configured to form an oxide film having uniform thickness on the substrate to be processed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-100627  
(P2002-100627A)

(43) 公開日 平成14年4月5日 (2002.4.5)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/316		H 0 1 L 21/316	S 5 F 0 4 0
			A 5 F 0 4 5
			M 5 F 0 5 8
21/31		21/31	A
29/78		29/78	3 0 1 G
		審査請求 未請求 請求項の数44 OL (全 25 頁)	

(21) 出願番号 特願2001-17620(P2001-17620)  
(22) 出願日 平成13年1月25日 (2001.1.25)  
(31) 優先権主張番号 特願2000-221172(P2000-221172)  
(32) 優先日 平成12年7月21日 (2000.7.21)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000219967  
東京エレクトロン株式会社  
東京都港区赤坂5丁目3番6号  
(72) 発明者 神力 博  
東京都港区赤坂5丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内  
(72) 発明者 青山 真太郎  
東京都港区赤坂5丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内  
(74) 代理人 100070150  
弁理士 伊東 忠彦

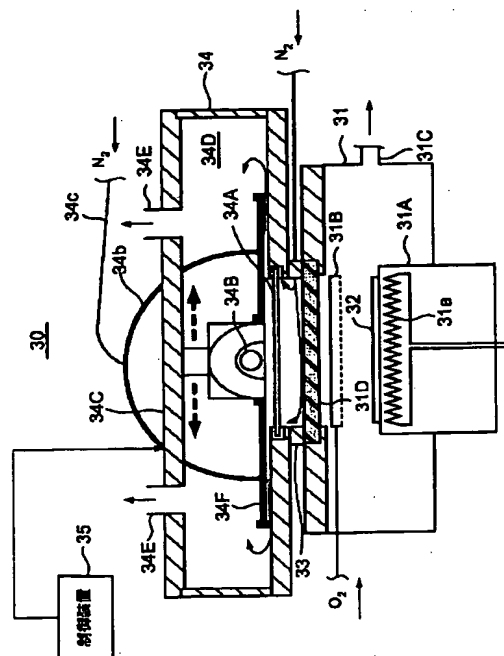
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法、基板処理装置および基板処理システム

(57) 【要約】

【課題】 Si 基板上に、厚さが1.5nm以下のSiO<sub>2</sub>膜を、紫外光活性化酸化処理により、一様な厚さで形成する。

【解決手段】 被処理基板を保持する処理容器に隣接して、紫外光源を前記処理容器に設けられた光学窓に隣接して移動可能に設け、前記紫外光源の位置あるいは駆動エネルギーを、前記被処理基板上に形成される酸化膜の膜厚が一様になるように設定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に酸化膜と高誘電体ゲート絶縁膜とを積層した構造を有する半導体装置の製造方法であつて、

前記酸化膜を、

前記基板表面に酸素を含有する処理ガスを供給する工程と、

紫外線源から前記基板表面に紫外線を照射し、前記処理ガスを活性化する工程と、

前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程とにより形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項2】 前記酸化膜は0.3～1.5nmの範囲の厚さを有することを特徴とする請求項1記載の半導体装置の製造方法。

【請求項3】 前記酸化膜は、約1.0nm以下の厚さを有することを特徴とする請求項1または2記載の半導体装置の製造方法。

【請求項4】 前記酸化膜は、約5～6分子層以下の厚さを有することを特徴とする請求項1～3のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【請求項5】 前記酸化膜は、約3分子層以下の厚さを有することを特徴とする請求項1～4のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【請求項6】 前記処理ガスは、 $O_2$ 、 $O_3$ 、 $N_2O$ およびNOよりなる群のいずれか一つ、またはそれらの組み合わせより選択されることを特徴とする請求項1～5のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【請求項7】 前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程は、前記紫外線源を、前記基板表面上において所定方向に往復運動させる工程よりなることを特徴とする請求項1～6のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【請求項8】 前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程は、前記紫外線源を、前記基板表面上において、前記基板に対して回転運動させる工程よりなることを特徴とする請求項1～6のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【請求項9】 前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程は、前記基板を、前記基板表面上において、前記紫外線源に対して回転運動させる工程よりなることを特徴とする請求項1～6のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【請求項10】 前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程は、前記紫外線源を、前記基板表面上において、さらに前記紫外線源と基板との間の回転角により規定される所定方向に往復運動させる工程を含むことを特徴とする請求項8または9記載の半導体装置の製造方法。

【請求項11】 前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程は、前記紫外線源を、前記基板表面上におい

て第1および第2の方向に走査させる工程よりなることを特徴とする請求項1～6のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【請求項12】 前記基板と紫外線源とを相対的に移動する工程は前記基板の限られた領域において実行され、前記限られた領域は、前記基板表面における前記酸化膜の膜厚変動が最小になるように選択されることを特徴とする請求項1～11記載の半導体装置の製造方法。

【請求項13】 前記処理ガスを活性化する工程は、前記紫外線源を、前記基板表面における前記酸化膜の膜厚変動が最小になるようなエネルギーで駆動することを特徴とする請求項1～12のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【請求項14】 基板と高誘電体ゲート絶縁膜との間に酸化膜を形成するための基板処理装置であつて、前記基板表面に酸素を含有する処理ガスを供給するガス供給手段と、

前記基板表面に紫外線を照射し、前記処理ガスを活性化

する紫外線源と、  
前記紫外線源を、前記基板表面上の所定の高さにおいて動かす光源移動機構とを有することを特徴とする基板処理装置。

【請求項15】 さらに前記基板処理装置は、前記紫外線源が前記基板表面の指定された領域上を動くように前記光源移動機構を制御する制御装置を含み、前記制御装置はプログラムに基づいて前記指定された領域を前記基板表面における前記酸化膜の膜厚変動が最小になるように選択することを特徴とする請求項14記載の基板処理装置。

【請求項16】 前記プログラムは、前記基板処理装置中において前記酸化膜の膜厚変動が最小になるような領域を探索する工程により決定されることを特徴とする請求項15記載の基板処理装置。

【請求項17】 さらに前記基板処理装置は、前記紫外線源を駆動する制御装置を含み、前記制御装置はプログラムに基づいて、前記基板表面における前記酸化膜の膜厚変動が最小になるように前記紫外線源による前記紫外線の照射量を制御することを特徴とする請求項14記載の基板処理装置。

【請求項18】 前記プログラムは、前記基板処理装置中において前記酸化膜の膜厚変動が最小になるような紫外線照射量を探索する工程により決定されることを特徴とする請求項17記載の基板処理装置。

【請求項19】 前記ガス供給手段は、紫外線を透過する材料により構成され、前記紫外線源と基板との間に配設されたシャワーヘッドよりなることを特徴とする請求項14～18のうち、いずれか一項記載の基板処理装置。

【請求項20】 前記ガス供給手段は、前記基板周囲から前記基板表面に前記処理ガスを供給する複数のノズル

よりなることを特徴とする請求項14～19のうち、いずれか一項記載の基板処理装置。

【請求項21】 前記紫外線源は線状光源であることを特徴とする請求項14～20のうち、いずれか一項記載の基板処理装置。

【請求項22】 前記紫外線源は点状光源であることを特徴とする請求項14～21のうち、いずれか一項記載の基板処理装置。

【請求項23】 前記紫外線源は単数または複数の光源であることを特徴とする請求項14～22のうち、い

ずれか1項記載の基板処理装置。

【請求項24】 前記紫外線源は、前記紫外線源周辺の雰囲気気を排気する排気ラインを有することを特徴とする請求項14～23のうち、いずれか一項記載の基板処理装置。

【請求項25】 前記紫外線源は、前記紫外線源周辺に不活性雰囲気気を供給する不活性ガス供給ラインを有することを特徴とする請求項14～24のうち、いずれか一項記載の基板処理装置。

【請求項26】 高誘電体膜を基板上に形成する成膜装置と、  
前記基板表面に、前記高誘電体膜と前記基板とにより挟持される絶縁膜を形成する基板処理装置と、  
前記堆積装置と前記基板処理装置との間を真空雰囲気により連結し、基板搬送機構を備えた真空搬送室とを備えた基板処理システムであって、  
前記基板処理装置は、  
前記基板表面に酸素を含有する処理ガスを供給するガス供給手段と、  
前記基板表面に紫外線を照射し、前記処理ガスを活性化

する紫外線源と、  
前記紫外線源を、前記基板表面上の所定の高さにおいて動かす光源移動機構とを有することを特徴とする基板処理システム。

【請求項27】 さらに前記基板を冷却する冷却装置を、前記真空搬送室に連結して設けたことを特徴とする請求項26記載の基板処理システム。

【請求項28】 さらに前記基板に前処理を行う前処理装置を、前記真空搬送室に連結して設けたことを特徴とする請求項26または27記載の基板処理システム。

【請求項29】 基板表面に絶縁膜を形成する基板処理装置と、  
前記基板表面にプラズマ窒化処理を行うプラズマ窒化処理装置と、  
前記堆積装置と前記基板処理装置との間を真空雰囲気により連結し、基板搬送機構を備えた真空搬送室とを備えた基板処理システムであって、  
前記基板処理装置は、  
前記基板表面に酸素を含有する処理ガスを供給するガス供給手段と、

前記基板表面に紫外線を照射し、前記処理ガスを活性化

する紫外線源と、  
前記紫外線源を、前記基板表面上の所定の高さにおいて動かす光源移動機構とを有することを特徴とする基板処理システム。

【請求項30】 基板上に絶縁膜を形成する成膜方法であって、  
処理ガスを、一または複数のラジカル発生源に供給する工程と、

前記一または複数のラジカル発生源の各々において、前記処理ガスから活性ラジカルを形成する工程と、

前記活性ラジカルを前記基板表面に供給する工程と、  
前記基板表面における前記活性ラジカルの反応により、絶縁膜を形成する工程とよりなり、

前記活性ラジカルを形成する工程は、前記一または複数のラジカル源の各々の状態を変化させながら実行され、さらに前記絶縁膜内における膜状態の変動を最小化するような最適状態を、前記一または複数のラジカル源の各々について、前記絶縁膜の状態に基づいて求める工程と、

前記一または複数のラジカル源の各々の状態を、前記最適状態に設定して基板表面に絶縁膜を形成する工程とを含むことを特徴とする絶縁膜の形成方法。

【請求項31】 前記一または複数のラジカル源の各々は、プラズマ源と、前記プラズマ源から離間して形成され前記活性ラジカルを通過させる開口部とを含むことを特徴とする請求項30記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項32】 前記一または複数のラジカル源の各々の最適状態は、前記絶縁膜の膜厚変動を最小化するように選ばれることを特徴とする請求項30または31記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項33】 前記一または複数のラジカル源の各々の最適状態は、前記絶縁膜の組成変動を最小化するように選ばれることを特徴とする請求項30または31記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項34】 前記一または複数のラジカル源の各々の状態を変化させる工程は、前記一または複数のラジカル源の位置を、前記基板に対して相対的に変位させる工程を含むことを特徴とする請求項30～33のうち、いずれか一項記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項35】 前記一または複数のラジカル源の各々の状態を変化させる工程は、前記プラズマ源の駆動パワーを変化させる工程を含むことを特徴とする請求項30～33のうち、いずれか一項記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項36】 前記一または複数のラジカル源の各々の状態を変化させる工程は、前記ラジカル源の角度を前記基板に対して変化させる工程を含むことを特徴とする請求項30～33のうち、いずれか一項記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項37】 前記絶縁膜を形成する工程は、前記基

板を回転させながら実行されることを特徴とする請求項30～36のうち、いずれか一項記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項38】 基板上に絶縁膜を形成するための基板処理装置であって、

被処理基板を保持する保持台を有する処理室と、

前記処理室に隣接して、それぞれの位置に設けられ、処理ガスを供給されて前記処理室中に活性ラジカルを供給する複数のラジカル源と、

前記複数のラジカル源の状態を設定するラジカル源設定部とを設けられ、

前記ラジカル源設定部は前記複数のラジカル源の状態を、前記絶縁膜が一樣な膜状態を有するように設定することを特徴とする基板処理装置。

【請求項39】 前記複数のラジカル源の各々は、前記処理ガスを供給されるプラズマ発生源と、前記プラズマ発生源から離間して設けられ、前記活性ラジカルを前記処理室中に供給する開口部とを有することを特徴とする請求項38記載の基板処理装置。

【請求項40】 前記ラジカル源設定部は、前記複数のラジカル源の状態を、前記絶縁膜が一樣な膜厚を有するように設定することを特徴とする請求項38または39記載の基板処理装置。

【請求項41】 前記ラジカル源設定部は、前記複数のラジカル源の状態を、前記絶縁膜が一樣な組成を有するように設定することを特徴とする請求項38または39記載の基板処理装置。

【請求項42】 前記ラジカル源設定部は、前記複数のラジカル源の各々を、前記処理室に対して移動可能に保持することを特徴とする請求項38～41のうち、いずれか一項記載の基板処理装置。

【請求項43】 前記ラジカル源設定部は、前記複数のラジカル源の各々を、前記被処理基板に対する角度が可変であるように保持することを特徴とする請求項38～41のうち、いずれか一項記載の基板処理装置。

【請求項44】 前記ラジカル源設定部は前記プラズマ発生源を駆動する駆動回路を含み、前記駆動回路は前記絶縁膜が一樣な膜状態を有するように前記プラズマ発生源を駆動することを特徴とする請求項39～41のうち、いずれか一項記載の基板処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体装置に係り、特に高誘電体膜を有する、超微細化高速半導体装置の製造方法に関する。

【0002】今日の超高速高速半導体装置では、微細化プロセスの進歩とともに、0.1 $\mu$ m以下のゲート長が可能になりつつある。一般に微細化とともに半導体装置の動作速度は向上するが、このように非常に微細化された半導体装置では、ゲート絶縁膜の膜厚を、微細化によ

るゲート長の短縮に伴って、スケーリング則に従って減少させる必要がある。

【0003】

【従来の技術】しかしゲート長が0.1 $\mu$ m以下になると、ゲート絶縁膜の厚さも、SiO<sub>2</sub>を使った場合、1～2nm、あるいはそれ以下に設定する必要があるが、このように非常に薄いゲート絶縁膜ではトンネル電流が増大し、その結果ゲートリーク電流が増大する問題を回避することができない。

【0004】このような事情で従来より、比誘電率がSiO<sub>2</sub>膜のものよりもはるかに大きく、このため実際の膜厚が大きくてもSiO<sub>2</sub>膜に換算した場合の膜厚が小さいTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>、HfO<sub>2</sub>、さらにはZrSiO<sub>4</sub>あるいはHfSiO<sub>4</sub>のような高誘電体材料をゲート絶縁膜に対して適用することが提案されている。このような高誘電体材料を使うことにより、ゲート長が0.1 $\mu$ m以下と、非常に短い超高速半導体装置においても10nm程度の物理的膜厚のゲート絶縁膜を使うことができ、トンネル効果によるゲートリーク電流を抑制することができる。

【0005】例えば従来よりTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜はTa(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>5</sub>およびO<sub>2</sub>を気相原料としたCVD法により形成できることが知られている。典型的な場合、CVDプロセスは減圧環境下、約480°C、あるいはそれ以上の温度で実行される。このようにして形成されたTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜は、さらに酸素雰囲気中において熱処理され、その結果、膜中の酸素欠損が解消され、また膜自体が結晶化する。このようにして結晶化されたTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜は大きな比誘電率を示す。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】かかる高誘電体膜をゲート絶縁膜に使った半導体装置では、高誘電体膜を直接にSi基板上に形成した方が、絶縁膜のSiO<sub>2</sub>換算実効膜厚を減少させるためには好ましいものの、このように高誘電体膜をSi基板上に直接に形成した場合には、高誘電体膜から金属元素がSi基板中に拡散してしまい、チャネル領域においてキャリアの散乱の問題が生じる。

【0007】チャネル領域中のキャリアモビリティを向上させる観点からは、高誘電体ゲート酸化膜とSi基板との間に、1nm以下、好ましくは0.8nm以下の厚さのきわめて薄いベース酸化膜を介在させるのが好ましい。前記ベース酸化膜は非常に薄い必要があり、厚さが厚いと高誘電体膜をゲート絶縁膜に使った効果が相殺される。一方、かかる非常に薄いベース酸化膜は、Si基板表面を一樣に覆う必要があり、また界面準位等の欠陥を形成しないことが要求される。

【0008】従来より、薄いゲート酸化膜はSi基板の急速熱酸化(RTO)処理により形成されるのが一般的であるが、熱酸化膜を所望の1nm以下の厚さに形成し

ようすると、膜形成時の処理温度を低下させる必要がある。しかし、このように低温で形成された熱酸化膜は界面準位等の欠陥を含みやすく、高誘電体ゲート酸化膜のベース酸化膜としては不適當である。

【0009】特にベース酸化膜の場合、その上に高誘電体ゲート絶縁膜を形成する際に、ベース酸化膜のわずかな膜厚の変動が高誘電体ゲート絶縁膜時のインキュベーション時間に影響を与えることが本発明の発明者により見出されているが、このことは、ベース酸化膜に不均一あるいは膜厚変動があると、かかる膜厚変動がその上に形成される高誘電体ゲート絶縁膜に大きく影響してしまい、半導体装置の特性が不良になってしまうことを意味している。このような事情から、高誘電体ゲート絶縁膜の下のベース酸化膜は、単に薄いのみならず、一様な厚さに形成されることが要求されている。

【0010】そこで、本発明は上記の課題を解決した、新規で有用な基板処理方法を提供することを具体的な課題とする。

【0011】本発明のより具体的な課題は、基板と高誘電体ゲート絶縁膜との間に、所定の厚みの絶縁膜を、一様な厚さで、界面準位等の欠陥を形成することなく形成できる基板処理方法、および基板処理装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の課題を、請求項1に記載したように、基板上に酸化膜と高誘電体ゲート絶縁膜とを積層した構造を有する半導体装置の製造方法であって、前記酸化膜を、前記基板表面に酸素を含有する処理ガスを供給する工程と、紫外線源から前記基板表面に紫外線を照射し、前記処理ガスを活性化する工程と、前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程とにより形成することを特徴とする半導体装置の製造方法により、または請求項2に記載したように、前記酸化膜は0.3～1.5nmの範囲の厚さを有することを特徴とする請求項1記載の半導体装置の製造方法により、または請求項3に記載したように、前記酸化膜は、約1.0nm以下の厚さを有することを特徴とする請求項1または2記載の半導体装置の製造方法により、または請求項4に記載したように、前記酸化膜は、約5～6分子層以下の厚さを有することを特徴とする請求項1～3のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法により、または請求項5に記載したように、前記酸化膜は、約3分子層以下の厚さを有することを特徴とする請求項1～4のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法により、または請求項6に記載したように、前記処理ガスは、 $O_2$ 、 $O_3$ 、 $N_2O$ および $NO$ よりなる群のいずれか一つ、またはそれらの組み合わせより選択されることを特徴とする請求項1～5のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法により、または請求項7に記載したように、前記基板と紫外線源とを相対的に移動

させる工程は、前記紫外線源を、前記基板表面上において所定方向に往復運動させる工程よりなることを特徴とする請求項1～6のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法により、または請求項8に記載したように、前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程は、前記紫外線源を、前記基板表面上において、前記基板に対して回転運動させる工程よりなることを特徴とする請求項1～6のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法により、または請求項9に記載したように、前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程は、前記基板を、前記基板表面上において、前記紫外線源に対して回転運動させる工程よりなることを特徴とする請求項1～6のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法により、または請求項10に記載したように、前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程は、前記紫外線源を、前記基板表面上において、さらに前記紫外線源と基板との間の回転角により規定される所定方向に往復運動させる工程を含むことを特徴とする請求項8または9記載の半導体装置の製造方法により、または請求項11に記載したように、前記基板と紫外線源とを相対的に移動させる工程は、前記紫外線源を、前記基板表面上において第1および第2の方向に走査させる工程よりなることを特徴とする請求項1～6のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法により、または請求項12に記載したように、前記基板と紫外線源とを相対的に移動する工程は前記基板の限られた領域において実行され、前記限られた領域は、前記基板表面における前記酸化膜の膜厚変動が最小になるように選択されることを特徴とする請求項1～11記載の半導体装置の製造方法により、または請求項13に記載したように、前記処理ガスを活性化する工程は、前記紫外線源を、前記基板表面における前記酸化膜の膜厚変動が最小になるようなエネルギーで駆動することを特徴とする請求項1～12のうち、いずれか一項記載の半導体装置の製造方法により、または請求項14に記載したように、基板と高誘電体ゲート絶縁膜との間に酸化膜を形成するための基板処理装置であって、前記基板表面に酸素を含有する処理ガスを供給するガス供給手段と、前記基板表面に紫外線を照射し、前記処理ガスを活性化する紫外線源と、前記紫外線源を、前記基板表面上の所定の高さにおいて動かす光源移動機構とを有することを特徴とする基板処理装置により、または請求項15に記載したように、さらに前記基板処理装置は、前記紫外線源が前記基板表面の指定された領域上を動くように前記光源移動機構を制御する制御装置を含み、前記制御装置はプログラムに基づいて前記指定された領域を前記基板表面における前記酸化膜の膜厚変動が最小になるように選択することを特徴とする請求項14記載の基板処理装置により、または請求項16に記載したように、前記プログラムは、前記基板処理装置中において前記酸化膜の膜厚変動が最小になるような

領域を探索する工程により決定されることを特徴とする請求項15記載の基板処理装置により、または請求項17に記載したように、さらに前記基板処理装置は、前記紫外線源を駆動する制御装置を含み、前記制御装置はプログラムに基づいて、前記基板表面における前記酸化膜の膜厚変動が最小になるように前記紫外線源による前記紫外線の照射量を制御することを特徴とする請求項14記載の基板処理装置により、または請求項18に記載したように、前記プログラムは、前記基板処理装置中において前記酸化膜の膜厚変動が最小になるような紫外線照射量を探索する工程により決定されることを特徴とする請求項17記載の基板処理装置により、または請求項19に記載したように、前記ガス供給手段は、紫外線を透過する材料により構成され、前記紫外線源と基板との間に配設されたシャワーヘッドよりなることを特徴とする請求項14～18のうち、いずれか一項記載の基板処理装置により、または請求項20に記載したように、前記ガス供給手段は、前記基板周囲から前記基板表面に前記処理ガスを供給する複数のノズルよりなることを特徴とする請求項14～19のうち、いずれか一項記載の基板処理装置により、または請求項21に記載したように、前記紫外線源は線状光源であることを特徴とする請求項14～20のうち、いずれか一項記載の基板処理装置により、または請求項22に記載したように、前記紫外線源は点状光源であることを特徴とする請求項14～21のうち、いずれか一項記載の基板処理装置により、または請求項23に記載したように、前記紫外線源は一または複数の光源であることを特徴とする請求項14～22のうち、いずれか一項記載の基板処理装置により、または請求項24に記載したように、前記紫外線源は、前記紫外線源周辺の雰囲気を排気する排気ラインを有することを特徴とする請求項14～23のうち、いずれか一項記載の基板処理装置により、または請求項25に記載したように、前記紫外線源は、前記紫外線源周辺に不活性雰囲気を供給する不活性ガス供給ラインを有することを特徴とする請求項14～24のうち、いずれか一項記載の基板処理装置により、または請求項26に記載したように、高誘電体膜を基板上に形成する成膜装置と、前記基板表面に、前記高誘電体膜と前記基板とにより挟持される絶縁膜を形成する基板処理装置と、前記堆積装置と前記基板処理装置との間を真空雰囲気により連結し、基板搬送機構を備えた真空搬送室とを備えた基板処理システムであって、前記基板処理装置は、前記基板表面に酸素を含有する処理ガスを供給するガス供給手段と、前記基板表面に紫外線を照射し、前記処理ガスを活性化させる紫外線源と、前記紫外線源を、前記基板表面上の所定の高さにおいて動かす光源移動機構とを有することを特徴とする基板処理システムにより、または請求項27に記載したように、さらに前記基板を冷却する冷却装置を、前記真空搬送室に連結して設けたことを特徴とする請求

項26記載の基板処理システムにより、または請求項28に記載したように、さらに前記基板に前処理を行う前処理装置を、前記真空搬送室に連結して設けたことを特徴とする請求項26または27記載の基板処理システムにより、または請求項29に記載したように、基板表面に絶縁膜を形成する基板処理装置と、前記基板表面にプラズマ窒化処理を行うプラズマ窒化処理装置と、前記堆積装置と前記基板処理装置との間を真空雰囲気により連結し、基板搬送機構を備えた真空搬送室とを備えた基板処理システムであって、前記基板処理装置は、前記基板表面に酸素を含有する処理ガスを供給するガス供給手段と、前記基板表面に紫外線を照射し、前記処理ガスを活性化させる紫外線源と、前記紫外線源を、前記基板表面上の所定の高さにおいて動かす光源移動機構とを有することを特徴とする基板処理システムにより、または請求項30に記載したように、基板上に絶縁膜を形成する成膜方法であって、処理ガスを、一または複数のラジカル発生源に供給する工程と、前記一または複数のラジカル発生源の各々において、前記処理ガスから活性ラジカルを形成する工程と、前記活性ラジカルを前記基板表面に供給する工程と、前記基板表面における前記活性ラジカルの反応により、絶縁膜を形成する工程とよりなり、前記活性ラジカルを形成する工程は、前記一または複数のラジカル源の各々の状態を変化させながら実行され、さらに前記絶縁膜内における膜状態の変動を最小化するように最適な状態を、前記一または複数のラジカル源の各々について、前記絶縁膜の状態に基づいて求める工程と、前記一または複数のラジカル源の各々の状態を、前記最適な状態に設定して基板表面に絶縁膜を形成する工程とを含むことを特徴とする絶縁膜の形成方法により、または請求項31に記載したように、前記一または複数のラジカル源の各々は、プラズマ源と、前記プラズマ源から離間して形成され前記活性ラジカルを通過させる開口部とを含むことを特徴とする請求項30記載の絶縁膜の形成方法により、または請求項32に記載したように、前記一または複数のラジカル源の各々の最適な状態は、前記絶縁膜の膜厚変動を最小化するように選ばれることを特徴とする請求項30または31記載の絶縁膜の形成方法により、または請求項33に記載したように、前記一または複数のラジカル源の各々の最適な状態は、前記絶縁膜の組成変動を最小化するように選ばれることを特徴とする請求項30または31記載の絶縁膜の形成方法により、または請求項34に記載したように、前記一または複数のラジカル源の各々の状態を変化させる工程は、前記一または複数のラジカル源の位置を、前記基板に対して相対的に変位させる工程を含むことを特徴とする請求項30～33のうち、いずれか一項記載の絶縁膜の形成方法により、または請求項35に記載したように、前記一または複数のラジカル源の各々の状態を変化させる工程は、前記プラズマ源の駆動パワーを変化させる工程を含むこ



とを特徴とする請求項30～33のうち、いずれか一項記載の絶縁膜の形成方法により、または請求項36に記載したように、前記または複数のラジカル源の各々の状態を変化させる工程は、前記ラジカル源の角度を前記基板に対して変化させる工程を含むことを特徴とする請求項30～33のうち、いずれか一項記載の絶縁膜の形成方法により、または請求項37に記載したように、前記絶縁膜を形成する工程は、前記基板を回転させながら実行されることを特徴とする請求項30～36のうち、いずれか一項記載の絶縁膜の形成方法により、または請求項38に記載したように、基板上に絶縁膜を形成するための基板処理装置であって、被処理基板を保持する保持台を有する処理室と、前記処理室に隣接して、それぞれの位置に設けられ、処理ガスを供給されて前記処理室中に活性ラジカルを供給する複数のラジカル源と、前記複数のラジカル源の状態を設定するラジカル源設定部とを設けられ、前記ラジカル源設定部は前記複数のラジカル源の状態を、前記絶縁膜が一樣な膜状態を有するように設定することを特徴とする基板処理装置により、または請求項39に記載したように、前記複数のラジカル源の各々は、前記処理ガスを供給されるプラズマ発生源と、前記プラズマ発生源から離間して設けられ、前記前記活性ラジカルを前記処理室中に供給する開口部とを有することを特徴とする請求項38記載の基板処理装置により、または請求項40に記載したように、前記ラジカル源設定部は、前記複数のラジカル源の状態を、前記絶縁膜が一樣な膜厚を有するように設定することを特徴とする請求項38または39記載の基板処理装置により、または請求項41に記載したように、前記ラジカル源設定部は、前記複数のラジカル源の状態を、前記絶縁膜が一樣な組成を有するように設定することを特徴とする請求項38または39記載の基板処理装置により、または請求項42に記載したように、前記ラジカル源設定部は、前記複数のラジカル源の各々を、前記処理室に対して移動可能に保持することを特徴とする請求項38～41のうち、いずれか一項記載の基板処理装置により、または請求項43に記載したように、前記ラジカル源設定部は、前記複数のラジカル源の各々を、前記被処理基板に対する角度が可変であるように保持することを特徴とする請求項38～41のうち、いずれか一項記載の基板処理装置により、または請求項44に記載したように、前記ラジカル源設定部は前記プラズマ発生源を駆動する駆動回路を含み、前記駆動回路は前記絶縁膜が一樣な膜状態を有するように前記プラズマ発生源を駆動することを特徴とする請求項39～41のうち、いずれか一項記載の基板処理装置により、解決する。

【作用】図1は高誘電体ゲート絶縁膜を有する高速半導体装置10の構成を、図2は図1の半導体装置製造の際に使われる本発明の原理を示す図である。

【0013】図1を参照するに、半導体装置10はSi

基板11上に形成されており、Si基板11上には薄いベース酸化膜12を介して、 $Ta_2O_5$ 、 $Al_2O_3$ 、 $ZrO_2$ 、 $HfO_2$ 、 $ZrSiO_4$ 、 $HfSiO_4$ 等の高誘電体ゲート絶縁膜13が形成され、さらに前記高誘電体ゲート絶縁膜13上にはゲート電極14が形成されている。

【0014】先にも説明したように、かかる高速半導体装置10では前記ベース酸化膜12の厚さは可能な限り薄いのが好ましく、典型的には前記ベース酸化膜12は1nm以下、好ましくは0.8nm以下の厚さに形成される。一方、前記ベース酸化膜12は前記Si基板表面を一樣に、すなわち一樣な膜厚で覆う必要がある。

【0015】図2は前記Si基板11上に一樣な厚さでベース酸化膜12を形成するための基板処理装置20の概略的構成を示す。

【0016】図2を参照するに、基板処理装置20は被処理基板22を減圧環境下で保持する処理容器21を有し、前記被処理基板22はヒータ21aを有する保持台21A上に保持される。さらに前記処理容器21中には前記保持台21A上の被処理基板22に対向するようにシャワーヘッド21Bが設けられ、前記シャワーヘッド21Bには $O_2$ 、 $O_3$ 、 $N_2O$ 、NOあるいはこれらの混合物よりなる酸化ガスが供給される。

【0017】前記シャワーヘッド21Bは石英など紫外光に対して透明な材料より形成され、さらに前記処理容器21には石英などの紫外光を透過させる窓21Cが前記保持台21A上の被処理基板22を露出するように形成される。また前記窓21Cの外側には前記窓21Cの面に沿って移動可能な紫外光源23が形成される。

【0018】図2の処理容器21中にSi基板を前記被処理基板22として導入し、処理容器21の内部を排気・減圧した後 $O_2$ などの酸化ガスを導入し、前記紫外光源23を駆動して前記酸化ガス中に活性な $O^*$ などのラジカルを形成する。かかる紫外線活性化ラジカルは露出されたSi基板22の表面を酸化し、その結果前記Si基板22の表面に0.5～0.8nm程度の非常に薄い酸化膜が形成される。

【0019】本発明では前記紫外光源23を前記光学窓21Cに沿って、所定のプログラムに従って移動させることにより、前記酸化膜を一樣な厚さに形成することができる。より具体的に説明すると、例えば装置固有の特性により、被処理基板22の特定の領域において、形成される酸化膜の膜厚が薄くなるような場合であっても、本発明によればその装置についてあらかじめ実験的に見出しておいた最適の基板領域あるいは最適の紫外線照度に、前記紫外光源23の位置あるいは駆動エネルギーを制御することにより、かかる膜厚の不均一を補償することができる。このため、かかる酸化膜上に高誘電体ゲート絶縁膜を堆積して半導体装置を形成した場合にも、高誘電体ゲート絶縁膜の膜厚が変動する問題を効果的に抑制することができ、安定な特性を有する半導体装置を得る

ことができる。

【0020】このようにして形成された酸化膜は紫外線活性化酸化处理で形成されているため、Zhang他 (Zhang, J-Y, et al., Appl. Phys. Lett. 71 (20), 17 November 1997, pp.2964-2966) が報告しているように界面準位等の欠陥が少なく、図1に示す高誘電体ゲート絶縁膜の下ベース酸化膜12として好適である。

【0021】

【発明の実施の形態】【第1実施例】図3は、本発明の第1実施例による基板処理装置30の構成を示す。

【0022】図3を参照するに、前記基板処理装置30は被処理基板32を保持する保持台31Aを有する処理容器31を含み、前記処理容器31中には前記保持台31A上の被処理基板32に対向して石英等の紫外光を透過させる材料よりなるシャワーヘッド31Bが設けられる。前記処理容器31は排気口31Cを介して排気され、一方前記シャワーヘッド31Bに外部のガス源からO<sub>2</sub>などの酸化性ガスが供給される。

【0023】前記処理容器31にはさらに前記シャワーヘッド31Bの上方に前記シャワーヘッド31Bおよびその下の被処理基板32を露出するように、石英などの紫外線を透過する材料よりなる光学窓31Dが形成されている。前記保持台31A中には前記被処理基板32を加熱するヒータ31aが設けられている。

【0024】さらに前記処理容器31上には、前記光学窓31Dに対応して設けられた結合部33を介して紫外光露光装置34が設けられている。

【0025】前記紫外光露光装置34は、前記光学窓31Dに対応した石英光学窓34Aと、前記石英光学窓34Aおよび光学窓31Dを介して紫外光を前記被処理基板32上に照射する紫外光源34Bとを含み、前記紫外光源34Bはロボット34Cにより図3中に矢印で示すように、前記光学窓34Aに平行な方向に移動が可能に保持されている。図示の例では、前記紫外光源34Bは、前記移動方向に対して略直角に延在するように設けられた線状の光源よりなる。かかる線状の光源としては、例えば波長が172nmのエキシマランプを使うことができる。

【0026】また図3の構成では、前記紫外光源34Bにより形成された紫外線が前記光学窓31Dを介して前記処理容器31中に導入されるに先立って空気中の酸素により吸収されてしまうのを回避するため、前記結合部33には外部のガス源(図示せず)よりN<sub>2</sub>などの不活性ガスがライン33Aを介して供給され、前記不活性ガスは前記紫外光露光装置34の光学窓34Aの取り付け部に形成された隙間を通して前記紫外光露光装置34中の空間34Dに流入する。

【0027】さらに前記紫外光源の駆動に伴い、前記紫外光源34Bの直下に大気中の酸素が巻き込まれ流入するのを抑制するため、紫外光源34Bの両側面に遮蔽板

34Fを設け、さらに前記遮蔽板34Fの下において、前記紫外光源34Bに対向する光学窓34Aと遮蔽板34Fとの間に形成される高さがせいぜい1mm程度の狭い領域に、ライン34bを介してN<sub>2</sub>などの不活性ガスが供給される。この領域には、前記ライン33Aからの不活性ガスも供給され、その結果、この領域において紫外光を吸収する酸素が効果的に排除される。

【0028】前記遮蔽板34F下の領域を通過した不活性ガスは前記空間34Dに流れ出し、さらに前記紫外光露光装置34中に形成された排気口34Eを通して外部に排出される。

【0029】図3の基板処理装置では、前記紫外光露光装置34において前記ロボット34Cにより前記紫外光源34Bの移動・走査を制御することができ、その結果、前記被処理基板32の表面に紫外線活性化酸化处理により酸化膜を形成する際に、紫外線露光照射量を制御することにより膜厚の分布を制御することが可能になる。前記ロボット34Cはコンピュータなどの制御装置35により制御される。また、前記制御装置35は前記紫外光源34Bの駆動をも制御する。

【0030】図4(A)~(C)は図3の基板処理装置30を使い、様々な条件下でSiO<sub>2</sub>膜をSi基板上に形成した場合の、得られたSiO<sub>2</sub>膜のエリブソメトリにより求めた膜厚分布をA単位で示す。ただし図4(A)~(C)において、被処理基板32としては8インチのSi基板が、表面自然酸化膜を後で説明する表面前処理工程により除去した状態で使われている。また図4(A)~(C)の各々において、前記処理容器31中の内圧は約0.7kPa(5Torr)に設定され、基板温度は300°Cに設定されている。

【0031】図示の結果は、前記処理容器31中にO<sub>2</sub>を1slmの流量で5分間供給した場合のもので、図4(A)は紫外光の照射を行わなかった場合を、また図4(B)、(C)は前記紫外光源34Bにより、光源直下で30mW/cm<sup>2</sup>の照度の紫外光を照射した場合を示す。図4(B)は、前記紫外光源34Bを410mmの範囲で、すなわち前記被処理基板32の全面が一様に露光されるように一様に走査した場合を示す。

【0032】図4(A)を参照するに、紫外光照射を行わなかった場合はSi基板表面に形成されるSiO<sub>2</sub>膜の厚さは0.2~0.3nm程度であり、実質的な膜形成は生じていないのに対し、図4(B)の場合には前記Si基板表面に約0.8nmのSiO<sub>2</sub>膜が形成されているのがわかる。さらに図4(B)の場合には、前記紫外光源34Bを400mmの範囲で一様に走査したにもかかわらず、前記8インチSi基板32の中央部において形成されたSiO<sub>2</sub>膜の膜厚が減少しているのがわかる。その結果、前記Si基板上に形成されたSiO<sub>2</sub>膜の膜厚変動は2.72%と比較的大きい値になっているが、これは使用した基板処理装置30に固有の特性を反

映しているものと考えられる。

【0033】これに対し図4(C)は、前記Si基板32の中央部付近で100nmの限られた範囲で前記紫外光源34Bを走査した場合のSiO<sub>2</sub>膜の膜厚分布を示す。

【0034】図4(C)を参照するに、このようにして形成されたSiO<sub>2</sub>膜の膜厚は0.92~0.93nmの範囲に収まり、膜厚変動1.35%まで減少しているのがわかる。

【0035】図5は、図4(A)~(C)の実験において、前記処理容器31中に導入されるO<sub>2</sub>の流量を様々に変化させた場合について、紫外線露光時間と形成されるSiO<sub>2</sub>膜の厚さとの関係を求めた結果を示す。

【0036】図5よりわかるように、形成されるSiO<sub>2</sub>膜の膜厚はO<sub>2</sub>流量にはほとんど依存せず、1分間を経過すると約1nmの値で飽和することがわかる。一方、露光時間が1分間より短い場合には、膜厚は露光時間共に増大する。図5は、図3の基板処理装置30を使ったSi基板表面へのベース酸化膜となる薄いSiO<sub>2</sub>膜の形成工程はごく短時間で十分であることを示している。

【0037】図6(A)~(E)は図3の基板処理装置中において前記処理容器内圧を約0.7kPa(5Torr)、基板温度を450°Cに設定し、O<sub>2</sub>ガスを1slmの流量で供給しながら前記紫外光源34Bを100mmの範囲で走査した場合に得られるSiO<sub>2</sub>膜の膜厚分布をA単位で示す。簡単のため、Si基板は矩形形状で示してある。

【0038】このうち図6(A)は前記走査を基板中心を基点に、±50mmの範囲で行った場合を示すが、図6(A)の例では基板中心からy軸方向上方向に向かって、またx軸方向上方向に向かって前記SiO<sub>2</sub>膜の膜厚が増大する傾向が存在するのがわかる。この場合のSiO<sub>2</sub>膜の膜厚変動は3.73%となっている。

【0039】これに対して図6(B)は、前記走査の基点を基板中心からy軸方向上下方向に向かって12.5mmずらした場合のSiO<sub>2</sub>膜の膜厚分布を、同じくA単位で示す。図6(B)よりわかるように、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚変動は3.07%まで減少している。

【0040】さらに図6(C)は、前記走査の基点を基板中心からy軸方向下方に25.0mmずらした場合のSiO<sub>2</sub>膜の膜厚分布をA単位で示す。図6(C)よりわかるように、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚変動は図6(B)の場合と同じで3.07%となっている。

【0041】これに対し、図6(D)は、前記走査の基点を基板中心からy軸方向下方に37.5mmずらした場合のSiO<sub>2</sub>膜の膜厚分布をA単位で示す。図6(D)よりわかるように、この場合SiO<sub>2</sub>膜の膜厚変動は2.70%まで減少している。

【0042】一方、図6(E)に示すように前記走査の基点を基板中心からy軸方向下方に50.0mmずらし

た場合には、前記SiO<sub>2</sub>膜の膜厚変動は5.08%まで増大している。

【0043】このことから、図3の基板処理装置30においては、前記紫外線源34Bの走査の基点を基板に対して最適化することでも、被処理基板32上に形成されるSiO<sub>2</sub>膜の膜厚変動を最小化できることが結論される。

【0044】次に図7(A)~(E)は、図3の基板処理装置30において前記紫外線源34Bの走査幅を100mmとし、走査の基点を被処理基板32の中心からy軸方向下方に37.5mmずらした位置に設定し、照射量をそれぞれ3mW/cm<sup>2</sup>、6mW/cm<sup>2</sup>、12mW/cm<sup>2</sup>、18mW/cm<sup>2</sup>および24mW/cm<sup>2</sup>に設定してSiO<sub>2</sub>膜を形成した場合の膜厚分布をA単位で示している。

【0045】図7(A)~(E)を参照するに、膜厚のばらつきは図7(A)の照射量を3mW/cm<sup>2</sup>に設定した場合が最も小さく、照射量が増大するにつれて膜厚のばらつきも増大しているのがわかる。

【0046】図7(A)~(E)の結果は、図3の基板処理装置30において、紫外線源34Bの照射量を最適化することによっても、得られるSiO<sub>2</sub>膜の膜厚のばらつきを最小化できることを示している。

【0047】図8(A)、(B)は比較対照例を示し、図8(A)は図7(A)~(E)と同一条件下において、紫外光照射を行わずにSiO<sub>2</sub>膜を形成した場合を、また図8(B)は従来の急速熱酸化(RTO)処理によりSiO<sub>2</sub>膜を形成した場合を示すが、このいずれの場合においても4%を超える膜厚変動が観測されることがわかる。

【0048】図9、10は、上記の結果を踏まえた、図3の基板処理装置30における基板処理方法の最適条件を探索するフローチャートである。このうち、図9は最適走査領域の探索を行うフローチャートであり、図10は最適照射量の探索を行うフローチャートである。

【0049】図9を参照するに、最初にステップ1において被処理基板上の任意の領域が指定され、次にステップ2において前記基板処理装置30中に被処理基板32を導入し、前記紫外光源34Bを前記被処理基板32上の指定された領域において走査させ、SiO<sub>2</sub>膜を形成する。さらに、前記ステップ1およびステップ2を繰り返すことにより、各繰り返し毎に、新たな被処理基板32上に前記領域をずらした状態でSiO<sub>2</sub>膜を形成する。

【0050】さらにステップ3において各実験で得られたSiO<sub>2</sub>膜の膜厚分布を評価し、ステップ4において膜厚変動が最小となる最適走査領域を見出す。

【0051】図9の最適走査条件を探索の後、図10に示す最適照射条件の探索が行われる。

【0052】図10を参照するに、最初にステップ11

において図9の手順により探索された最適走査領域が指定され、次にステップ12において紫外光源34Bの駆動エネルギーが指定される。さらにステップ13において前記基板処理装置30中に被処理基板32を導入し、前記紫外光源34Bを前記被処理基板32上の指定された最適領域において、ステップ12により指定された駆動エネルギーで走査させ、 $\text{SiO}_2$ 膜を形成する。さらに、前記ステップ12およびステップ13を繰り返すことにより、各繰り返し毎に、新たな被処理基板32上に前記駆動エネルギーをずらした状態で $\text{SiO}_2$ 膜を形成する。

【0053】さらにステップ14において各実験で得られた $\text{SiO}_2$ 膜の膜厚分布を評価し、膜厚変動が最小となる紫外光源34Bの最適駆動エネルギーを見出す。さらにステップ15において、かかる最適駆動エネルギーにおいて膜形成がなされるように、前記基板処理装置30の紫外光源34Bを制御するプログラムを決定する。

【0054】このようにして決定されたプログラムに従って前記制御装置35は前記ロボット34Cおよび紫外光源34Bを動作させ、その結果前記紫外光源34Bは最適な基板領域を最適な駆動エネルギーで走査し、その結果、前記前記被処理基板34上に0.3~1.5nm、好ましくは1nm以下、より好ましくは0.8nm以下の厚さの、非常に薄い、しかも膜厚の様な $\text{SiO}_2$ 膜が形成される。

【第2実施例】図11は、図3の基板処理装置30を組み込んだ、本発明の第2実施例による基板処理システム40の構成を示す。

【0055】図11を参照するに、前記基板処理システム40はクラスター型処理装置であり、基板搬入／搬出のためのロードロック室41と、基板表面を窒素ラジカル $\text{N}^*$ と水素ラジカル $\text{H}^*$ 、および $\text{NF}_3$ ガスにより処理し、基板表面の自然酸化膜を $\text{N}-\text{O}-\text{Si}-\text{H}$ 系の揮発性膜に変換し、除去する前処理室42と、図3の基板処理装置30よりなる $\text{UV}-\text{O}_2$ 処理室43と、基板上に $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{HfO}_2$ 、 $\text{ZrSiO}_4$ 、 $\text{HfSiO}_4$ 等の高誘電体膜を堆積堆積するCVD処理室44と、基板を冷却する冷却室45とを真空搬送室46で連結した構成を有し、前記真空搬送室46中には搬送アーム(図示せず)が設けられている。

【0056】動作時には、前記ロードロック室41に導入された被処理基板は経路(1)に沿って前記前処理室42に導入され、自然酸化膜が除去される。前記前処理室42で自然酸化膜を除去された被処理基板42は経路(2)に沿って前記 $\text{UV}-\text{O}_2$ 処理室43に導入され、図3の基板処理装置30により、前記紫外光源34Bにより最適な領域を最適な駆動エネルギーで走査させることにより、図1に示す $\text{SiO}_2$ ベース酸化膜12を厚さが1nm以下の一様な膜厚の形成される。

【0057】さらに、前記 $\text{UV}-\text{O}_2$ 処理室43において前記 $\text{SiO}_2$ 膜を形成された被処理基板は経路(3)

に沿ってCVD処理室44に導入され、前記 $\text{SiO}_2$ 膜上に図1に示す高誘電体ゲート絶縁膜14が形成される。

【0058】さらに前記被処理基板は前記CVD処理室44から経路(4)に沿って冷却室45に移され、前記冷却室45で冷却された後、経路(5)に沿ってロードロック室41に戻され、外部に搬出される。

【第3実施例】図12は、本発明の第3実施例による基板処理システム40Aの構成を示す。

【0059】図12を参照するに、基板処理システム40Aは前記基板処理システム40と類似した構成を有するが、前記CVD処理室44の代わりにプラズマ窒化処理室44Aが設けられている。

【0060】前記プラズマ窒化処理室44Aには、前記 $\text{UV}-\text{O}_2$ 処理室43において $\text{SiO}_2$ 膜を形成された被処理基板が経路(3)に沿って供給され、表面にプラズマ窒化処理により、 $\text{SiON}$ 膜が形成される。

【0061】かかる工程を、前記 $\text{UV}-\text{O}_2$ 処理室43とプラズマ窒化処理室44Aとの間で繰り返すことにより、図13に示す、 $\text{SiON}$ ゲート絶縁膜13Aを有する半導体装置10Aを形成することができる。ただし図13A中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0062】図13の構造10Aでは、前記 $\text{SiON}$ ゲート絶縁膜13Aは1.5~2.5nmの厚さに形成されるが、その際図12の基板処理装置40Aを使うことにより、前記 $\text{SiON}$ ゲート絶縁膜13Aの底部近傍においてオリッチに、また上部近傍においてNリッチになるように組成勾配を形成することも可能である。

【変形例】なお、図3の基板処理装置30において、前記線状紫外光源34Bの移動は図3に示した矢印方向の往復運動に限定されるものではなく、図14に示すように前記被処理基板32に対して回転させ、これに往復運動を組み合わせるようにしてもよい。また、かかる光源34Bの被処理基板32に対する回転は、光源34B自体を回転させても、また被処理基板32を回転させてもよい。

【0063】また、図3の基板処理装置30において、前記線状紫外光源34Bの代わりに図15(A)に示すように点状の紫外光源34B'を使い、これを所定方向に往復運動させてもよい。さらに、図15(B)に示すようにかかる点状紫外光源34B'を前記被処理基板32上において縦横方向に走査させてもよい。

【0064】図16は、図3の基板処理装置30の別の変形例による基板処理装置30、を示す。ただし図16中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0065】図16を参照するに、前記基板処理装置30、では前記石英シャワーヘッド31Bが除去され、その代わりに前記処理容器31中に $\text{O}_2$ を導入する複数の

10

20

30

40

50

ガス導入部31B'が、前記基板32上の領域を避けるように形成されている。さらに図14の構成では、図3の構成において前記紫外光露光装置34に前記結合部33に対応して形成されていた石英窓34Aが撤去されている。

【0066】かかる構成によれば、前記紫外光源34Bにより形成された紫外線の石英窓34Aあるいはシャワーヘッド31Bによる吸収が最小になる。

【0067】なお、図3あるいは図16の構成では、必要に応じて前記排気口34Eに排気ダクトを接続し、紫外光露光装置34からの排気を無害化した後環境中に排出するようにしてもよい。

【第4実施例】本発明の発明者は、先に図3で説明した基板処理装置30を使って、Si基板32の(100)面上にSiO<sub>2</sub>膜を紫外光源34Bの駆動パワーを様々に変化させながら形成し、得られたSiO<sub>2</sub>膜について、膜厚をXPS(X-ray photoelectron spectroscopy)法により測定する実験を行った。膜厚測定をXPSにより行うことにより、空气中で膜厚測定を行うエリブソメトリを使った場合に比べて、大気中からの吸着成分(H<sub>2</sub>Oや有機物)によるSiO<sub>2</sub>膜の膜厚変化の効果を排除することができ、より正確な膜厚の測定が可能になる。

【0068】図17は、このようにして得られたSiO<sub>2</sub>膜の膜厚と紫外光パワーとの関係を示す。ただし図17の実験は紫外光のパワーを光源直下における50mW/cm<sup>2</sup>の照度を基準に、前記基準照度の10~45%の間で照度を変化させた場合についてのもので、酸化時間は5分間としている。また図17の実験では、光源34Bの位置を先に図9で説明した手順により最適化してある。

【0069】図17を参照するに、XPS法で測定したSiO<sub>2</sub>膜の膜厚は、照射紫外光の照度が基準照度の約15~25%の範囲では照度と共におおよそ直線的に、0.66nmから0.72nmまで略直線的に増加し、また基準照度の約35%から40%の範囲でもおおよそ直線的に0.73nmから0.78nmまで増加するのがわかる。さらに図17は、前記照射紫外光の照度が前記基準照度の約25~35%の範囲では、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚が0.72nmから0.73nmまで、わずか0.01nmしか変化しないことがわかる。

【0070】図18(A)~(F)は、図17の実験で使ったSi基板上における前記紫外線活性化酸化処理工程により形成されたSiO<sub>2</sub>膜の膜厚分布を示す。

【0071】図18(A)~(F)を参照するに、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚変動は、このように照射紫外光の照度を減少させ、SiO<sub>2</sub>膜を膜厚が1.0nm以下になるように形成した場合、図18(C)の照度を基準照度の25%に設定した場合を除き、2%以下に抑制できることがわかる。特に図18(D)、(E)に示すように紫外光

照度を基準照度の30%あるいは35%に設定した場合、すなわち紫外光照度を図17におけるSiO<sub>2</sub>膜の膜厚増加が小さい照度領域に設定した場合、SiO<sub>2</sub>膜の膜厚変動は1.21~1.31%まで抑制できることがわかる。

【0072】このようなSiO<sub>2</sub>膜の膜厚を1.0nm以下に減少させた場合に見られる膜厚分布の均一性の著しい向上、および特に図17に見られる照射紫外光照度に対するSiO<sub>2</sub>膜厚の階段状の変化は、紫外線活性化酸化処理工程における自己制御(セルフリミティング)効果の存在を示唆している。すなわち図17に見られるSiO<sub>2</sub>膜厚の階段状の変化は紫外光照射パワーについて観測されたものであるが、同様の階段状の変化は処理温度や処理時間についても観測されるものと考えられる。

【0073】図19は、かかる自己制御効果について、推測されるメカニズムの一つを示す。

【0074】図19を参照するに、被処理Si基板表面には酸化処理の際、酸素が侵入することにより3次元Si-O-Siネットワーク構造を有するSiO<sub>2</sub>膜が形成される。Si基板の酸化の進行はSi原子の結合の弱い部分からはじまる。しかるに基板結晶の1つの原子層がすべて酸化された図19のような状態ではそのような結合の弱い部分が少なくなると考えられる。そこであらたな酸化を起こすためには増えた膜厚分を酸素原子が侵入する必要とあいまってさらに多量の活性化された酸素が必要になると考えられ、その結果、かかる紫外線活性化酸化処理工程において紫外線強度に伴う活性酸素濃度の増加によっても酸化膜成長の促進が鈍化してしまう領域が生じるものと考えられる。かかる酸化膜成長の原子層酸化に伴うセルフリミティング効果により、図17に示す階段状の酸化膜成長が生じるものと考えられる。

【0075】かかる均一性は、SiO<sub>2</sub>分子層にして5~6層まで維持されるものと考えられる。

【0076】図17、18の結果より、図3の基板処理装置30において紫外線活性化酸化処理は、SiO<sub>2</sub>膜が5~6分子層以下、より好ましくは3分子層以下の厚さを有するように実行するのが好ましい。

【第5実施例】次に、先の実施例の基板処理装置30'をさらに発展させ、来たるべき大口径被処理基板に対応させた本発明の第5の実施例による基板処理装置50について、図20(A)、(B)および図21(A)、(B)を参照しながら説明する。

【0077】図20(A)、(B)を参照するに、図20(B)は先に図16で説明した基板処理装置装置30'の平面図を、また図20(A)は前記被処理基板32が300mmの直径を有する場合の前記基板32上における紫外線照射強度分布を示す。ただし図20(A)の照射強度分布は、前記300mm直径の被処理基板32を長さ330mmの線状紫外線源34Bにより、高

さ100mmの位置から照射した場合における、前記紫外線源直下での照射紫外光強度分布を示す。図20(A),(B)中、先に説明した部分には対応する参照符号を付し、説明を省略する。

【0078】図20(A)より、図16の構成の基板処理装置30'を、そのまま300mm径を超える大口径基板の処理に使った場合には、被処理基板32の端部で照射光強度が30%ほど減衰するのがわかる。このような大口径被処理基板の処理に際して紫外光強度分布の均一性を向上させるためには、前記線状紫外線源34Bの長さをさらに延長することももちろん考えられるが、かかるアプローチは基板処理装置の大型化を招くため、好ましくない。

【0079】これに対し、図21(A),(B)は上記の課題を解決した、本発明の第5実施例による基板処理装置50の構成を示す。ただし図21(A),(B)中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。図20(A),(B)と同様に、図21(B)が基板処理装置50の平面図を、図21(A)が被処理基板32上における紫外光強度分布を示す。

【0080】図21(B)を参照するに、本実施例では前記線状紫外光源34Bを、単一の直線上に一直線状に配列した複数の線状紫外光源34B<sub>1</sub>、34B<sub>2</sub>および34B<sub>3</sub>より構成し、各々の紫外光源を対応する駆動装置35<sub>1</sub>、35<sub>2</sub>および35<sub>3</sub>により駆動する。

【0081】図21(A)は、前記紫外光源34B<sub>1</sub>、34B<sub>2</sub>および34B<sub>3</sub>の光出力比を1:1.55:1に制御した場合の、被処理基板32上、紫外光源直下の領域における光の強度分布を示す。

【0082】図21(A)よりわかるように、紫外光強度の変動は図20(A)に示す約30%に達する変動に対し、約3.5%の変動幅まで改善されている。すなわち先の図3で説明した本発明の第1実施例の基板処理装置30、あるいは図16で説明した基板処理装置30'において線状紫外光源34Bを複数の線状紫外光源要素により構成し、各々の紫外光源要素を個別に駆動すると共に前記複数の紫外光源要素を全体として移動させ、被処理基板32の表面を走査することにより、非常に均一な厚さの酸化膜を被処理基板32上に形成することができ。

【0083】さらに図9に示したようなフローチャートと同様な、最適な膜厚分布に対応した駆動条件を探索する最適値探索手順を前記紫外光源要素の出力比に対して適用し、最適の出力比を求めることにより、基板処理装置に固有の不均一要因を補正し膜厚のさらなる均一化を図ることが可能になる。すなわち本実施例では図9のステップ1において走査領域の指定の代わりに紫外光源34B<sub>1</sub>~34B<sub>3</sub>の駆動パワー比を変化させ、ステップ3で成膜結果を評価し、ステップ4で最適な走査領域の代

わりに最適な駆動パワー比を選択する。

【第6実施例】次に本発明の第6実施例による基板処理装置60の構成を、図22を参照しながら説明する。基板処理装置60は来るべき半導体装置のさらなる微細化に対応させたものであり、被処理基板の回転機構と単数または複数の線状紫外線源とを組み合わせる。

【0084】図22は本実施例による基板処理装置60の構成を示す。図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0085】図22を参照するに、前記基板処理装置60は先の第1実施例で説明した基板処理装置30処理容器31と同様の処理容器61中において直径が300mmの被処理基板62Wを保持する保持台62を有し、前記保持台62は回転駆動部63により回転駆動される。また前記処理容器61の上部には単一の、長さが例えば330mmの線状の紫外光源64Aを含む光源ユニット64が設けられ、前記紫外光源64Aは紫外線透過窓65を介して前記保持台62上の被処理基板を照射する。前記処理容器61は真空ポンプ61Pにより排気され、さらに前記処理容器61中には前記被処理基板に対向するようにライン61aを介してO<sub>2</sub>を供給される石英シャワーノズル61Aが設けられている。また前記光源ユニット64には冷却水通路が設けられ、ライン64Wを通して循環する冷却水により水冷される。前記保持台62中にはヒータ等の熱源62Hが設けられ、被処理基板62Wの温度を制御する。

【0086】図22の構成では、前記保持台62に結合された回転軸62Aには樹脂製Oリングあるいはより理想的には磁気流体シール材よりなる真空シール62Bが設けられ、前記処理容器61内部がシールされている。また前記紫外光源64Aは、図22に示すように被処理基板の中心からずらして設けられている。前記回転保持台62中の熱源62Hを駆動する駆動ライン62hは、前記処理容器61の外部に、コンタクト62Cを介して引き出される。

【0087】図23(A)は図22の基板処理装置60において、前記被処理基板62Wを回転させた場合における被処理基板62W上における紫外線強度の径方向分布を、前記紫外光源64Aと被処理基板62Wとの相対配置を様々に変化させながら求めた結果を示す。ただし図23(A)中、横軸には被処理基板62Wの半径方向の距離を、また縦軸には各点における平均紫外線照射強度を示す。また図23(A)では前記被処理基板62Wと光源64Aとの間の高さ方向距離(ワークディスタンス)は100mmとしている。

【0088】図23(A)を参照するに、前記光源64Aを被処理基板62Wの中央付近(例えば0mm)に位置させると、対応するずれ量のプロットを見れば明らかのように中心(横軸の0mm)位置において照射強度は最大となり、被処理基板周辺部に向って紫外照射強度が

減少しているのがわかる。一方、前記紫外光源 64 A を被処理基板 62 W の中心から半径方向に大きく、例えばだけ 150 mm ずらしたところ、前記被処理基板 62 W 上における照射強度分布は基板中心部において小さく、基板端部に向って増加する傾向を示す。特に前記紫外光源 64 A を前記被処理基板 62 W の中心から半径方向 110 mm の位置に置いた場合、照射紫外光強度の変化は最も小さく、概ね 10% 以内に収まるのがわかる。

【0089】このように、図 22 の基板処理装置 60 においては紫外光源 64 A を図 22 中に示すように被処理基板 62 W の半径方向に、前記被処理基板 62 W の中心から 110 mm だけずらし、さらに前記紫外光源 64 A の高さを 100 mm の高さに配置し、被処理基板 62 W と紫外線源 64 A とを相対的に回転させながら紫外線活性化酸化処理工程を行うことにより、非常に均一な厚さの酸化膜がシリコン基板上に形成されることがわかる。

【0090】さらにかかる最適位置から前記紫外光源 64 A を図 22 に矢印で示したように限られた範囲、例えば前記被処理基板 64 A の中心から 75 mm から 125 mm の範囲で変位させることにより、前記被処理基板 64 A 上に形成される酸化膜の膜厚分布を変化させることも可能である。また先に図 9 で説明した最適な膜厚分布を探索するフローチャートを適用して前記紫外光源 64 A について最適のずれ量を求めることにより、基板処理装置 60 に固有の膜厚を不均一化する要因を補正し、膜厚の均一化を図ることができる。さらに本実施例の基板処理装置 60 では先の第 1 実施例における基板処理装置 30 あるいは 30' に比べて紫外光源 64 A の移動範囲が限定されており、このためその装置全体の大きさを小さくすることができる。

【第 7 実施例】図 24 は本発明の第 7 実施例による基板処理装置 70 の構成を示す。ただし図 24 中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0091】図 24 を参照するに、本実施例では先の実施例における基板処理装置 60 と同様な構成を有するが、単一の紫外光源 64 A を可動に設けた光源ユニット 64 の代わりに、複数の固定紫外光源 74 A<sub>1</sub>、74 A<sub>2</sub> を前記被処理基板 62 W の中心から外して設け、前記固定紫外光源 74 A<sub>1</sub> および 74 A<sub>2</sub> をそれぞれの対応する駆動装置 74 a<sub>1</sub> および 74 a<sub>2</sub> により駆動する。図示の例では前記紫外光源 74 A<sub>1</sub> は被処理基板 62 W の中心から 25 mm だけ半径方向上外側に変位した位置に、また紫外光源 74 A<sub>2</sub> は被処理基板 62 W の中心から半径方向上 175 mm 外側に変位した位置に設けられている。さらに前記光源ユニット 74 には前記紫外光源 74 A<sub>1</sub> および 74 A<sub>2</sub> に対応して紫外光透過窓 74 B が設けられている。

【0092】図 25 は、図 24 の基板処理装置 70 における、前記紫外光源 74 A<sub>1</sub> のみによる被処理基板 62

W 上での紫外光強度分布および前記紫外光源 74 A<sub>2</sub> のみによる被処理基板 62 W 上での紫外光強度分布、さらに前記紫外光源 74 A<sub>1</sub> および 74 A<sub>2</sub> の両方を駆動した場合の紫外光強度分布を示す。ただし図 25 の実験において、前記紫外光源 74 A<sub>1</sub> は被処理基板 62 W の中心から半径方向上外側に 25 mm だけ離間して設けられており、前記紫外光源 74 A<sub>2</sub> は前記被処理基板 62 W の中心から半径方向上外側に 175 mm 離間して設けられている。さらに図 25 においては前記紫外光源 74 A<sub>1</sub> は対応する駆動装置 74 a<sub>1</sub> により 73% の出力で駆動され、一方前記紫外光源 74 A<sub>2</sub> は対応する駆動装置 74 a<sub>2</sub> により 27% の出力で駆動されている。

【0093】図 25 よりわかるように、前記紫外光源 74 A<sub>1</sub> および 74 A<sub>2</sub> は単独では単調に変化する紫外光強度分布を被処理基板 62 W 上に形成するが、その変化方向が逆になっているためそれぞれの駆動パワーを最適化することにより、被処理基板 62 W 上に非常に均一な紫外光強度分布を実現することが可能になる。図 25 の例では、前記紫外光の照射強度変化が 2% 台に抑制されている。かかる最適な駆動パワーは先に説明した図 9 の最適値探索手順により、ステップ 1 において前記駆動装置 74 a<sub>1</sub>、74 a<sub>2</sub> の駆動出力を変化させ、ステップ 3 において成膜結果を評価し、ステップ 4 において最適値を決定することにより求めることができる。

【第 8 実施例】図 25 は本発明の第 8 実施例による基板処理装置 80 の構成を示す。ただし図 25 中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0094】図 25 を参照するに、本実施例の基板処理装置 80 は先の実施例による基板処理装置 70 と類似した構成を有するが、基板処理装置 70 における光源ユニット 74 の代わりに、膨らんだ形状のアルミニウムドームよりなる光源ユニット 84 が設けられており、前記光源ユニット 84 上には前記紫外光源 74 A<sub>1</sub> および 74 A<sub>2</sub> が異なった高さで、すなわち被処理基板 62 W の表面から測って異なった距離に取り付けられている。

【0095】図 27 は図 26 の基板処理装置 80 のうち、被処理基板 62 W と紫外光源 74 A<sub>1</sub>、74 A<sub>2</sub> との関係を示す。

【0096】図 27 を参照するに、前記紫外光源 74 A<sub>1</sub> は被処理基板 62 W の中心 O から半径方向に距離 r<sub>1</sub> だけ離れた位置において、第 1 のワークディスタンス WD<sub>1</sub> で設けられており、一方前記紫外光源 74 A<sub>2</sub> は被処理基板 62 W の中心 O から半径方向により大きな距離 r<sub>2</sub> だけ離れた位置において、より小さな第 2 のワークディスタンス WD<sub>2</sub> で設けられている。先の基板処理装置 70 と同様に、前記紫外光源 74 A<sub>1</sub> は駆動装置 74 a<sub>1</sub> により、また紫外光源 74 A<sub>2</sub> は駆動装置 74 a<sub>2</sub> により、独立に駆動される。

【0097】図 28 は図 26 の基板処理装置 80 におい



て距離 $r_1$ 、 $r_2$ をそれぞれ50mmおよび165mmに設定し、ワークディスタンスWD<sub>1</sub>およびWD<sub>2</sub>をそれぞれ100mmおよび60mmに設定した場合の前記被処理基板62W上における紫外光源74A<sub>1</sub>による紫外光強度分布および紫外光源74A<sub>2</sub>による紫外光強度分布、さらに前記紫外光源74A<sub>1</sub>および74A<sub>2</sub>による合成紫外光強度分布を示す。ただし図28では前記紫外光源74A<sub>1</sub>は64%の出力で、また紫外光源74A<sub>2</sub>は36%の出力で駆動されている。

【0098】図28を参照するに、前記紫外光源74A<sub>1</sub>および74A<sub>2</sub>による紫外光強度分布はいずれも単調かつ逆方向に変化し、前記紫外光源74A<sub>1</sub>による紫外光強度分布と紫外光源74A<sub>2</sub>による紫外光強度分布とを重ねることにより、紫外光照射強度変化を2%以下に抑制することが可能である。

【0099】本実施例においても、先の実施例と同様に図9と同様な最適地探索手順により、紫外光源74A<sub>1</sub>および74A<sub>2</sub>の最適駆動パワーを求めることができる。

【第9実施例】次に、本発明の第9実施例によるリモート

プラズマ源を使った基板処理装置について説明する。【0100】図29(A)は通常のリモートプラズマ基板処理装置90の構成を示す。ただし図示の例では、基板処理装置90はSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜上に形成されたSiO<sub>2</sub>膜の表面に窒化反応により窒化膜を形成する窒化処理に使われている。

【0101】図29(A)を参照するに、基板処理装置90は、排気ポート91Aにおいて排気される処理容器91中に被処理基板Wを保持する石英保持台92を有し、さらに前記処理容器91上には、前記被処理基板Wに対向してN<sub>2</sub>ガスを供給され、これをプラズマにより活性化して活性なN<sub>2</sub>ラジカルを形成するリモートプラズマ源93が形成されている。また前記石英保持台92の下には、前記被処理基板Wに対応してヒータ94が形成されている。また図29(A)中には、前記リモートプラズマ源93で形成されたN<sub>2</sub>ラジカルの濃度分布が示されている。当然ながら、N<sub>2</sub>ラジカルの濃度は前記リモートプラズマ源93の直下、すなわち前記リモートプラズマ源93を被処理基板Wの中心位置に形成していた場合には、前記被処理基板Wの中心において最大となる。

【0102】図30は、前記リモートプラズマ源93の構成を詳細に示す。

【0103】図30を参照するに、前記リモートプラズマ源93は、一端において前記基板処理容器91に装着され、他端にN<sub>2</sub>あるいはAr等のプラズマガスを導入する入り口93aを形成され、石英ライニング93bを有する本体93Aと、前記本体93A上の前記他端に形成されマイクロ波を給電されるアンテナ93Bと、前記本体93Aの前記一端に形成され、前記リモートプラズ

マ源93で形成された活性ラジカルを多数の開口部を介して前記処理容器91に供給する石英拡散板93Cとよりなり、前記本体93Aの外側には前記一端と他端の間にマグネット93Dが配設される。かかるリモートプラズマ源93では、前記導入口93aを介して前記本体93A中にN<sub>2</sub>ガスやArガスを導入し、さらに前記アンテナ93Bにマイクロ波を給電することにより、前記本体93A中に前記マグネット93Dの位置に対応してプラズマが形成され、プラズマによりN<sub>2</sub>ガスが活性化されることにより形成された窒素ラジカルN<sub>2</sub>が前記拡散板93Cを介して前記処理容器91中に導入される。

【0104】図29(B)は図29(A)の基板処理装置90により前記SiO<sub>2</sub>膜を形成されたSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>被処理基板W上にSiON膜を様々な条件で形成した場合の、基板表面におけるNの濃度分布を示す。ただし図29(B)中、Nの濃度分布は被処理基板Wの中心を原点として、半径方向に測定したプロファイルを示す。

【0105】図29(B)を参照するに、被処理基板W上にはNの非一様な濃度分布が生じており、前記被処理基板Wの中心において濃度が最大となることがわかる。さらに前記Nの濃度分布は被処理基板Wの中心に対して略対称的であり、このような対称的な濃度分布が生じている場合には、基板を回転させても前記非一様な濃度分布を一様にするとはできない。

【0106】これに対し、図31(A)、(B)は本発明の第9実施例による基板処理装置100の構成を示す。ただし図31(A)は断面図を、また図31(B)は平面図を示す。図31(A)、(B)中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0107】図31(A)、(B)を参照するに、本実施例では複数のリモートプラズマ源93<sub>1</sub>および93<sub>2</sub>が被処理基板Wの中心を外して、それぞれの位置(x<sub>1</sub>, 0)、(x<sub>2</sub>, 0)に形成されており、その結果前記被処理基板W上にはこれらのリモートプラズマ源の各々起因するラジカル濃度分布を重畳したラジカル濃度分布が基板Wの半径方向に形成される。そこで図31

(A)、(B)に示すように被処理基板Wを回転させることにより、基板W上におけるラジカルの濃度分布が平均化される。

【0108】図32(A)は、前記被処理基板Wとして表面にSiO<sub>2</sub>膜を形成したSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>基板を使い、被処理基板Wを固定した場合、すなわち回転させない場合における、窒化処理後の基板表面のN濃度分布を示す。一方図32(B)は、前記Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>基板Wの窒化処理の際に基板Wを中心の周りで回転させた場合の基板表面におけるN濃度分布を示す。ただし図32(A)、(B)中、■、◆および△で示した点は、それぞれリモートプラズマ源93<sub>1</sub>のみを使った場合、リモートプラズマ源93<sub>2</sub>のみを使った場合、およびリモートプラズマ源93<sub>1</sub>および93<sub>2</sub>の双方を使った条件でSiON膜を形成した場合に



対応する。

【0109】図32(A)を参照するに、前記基板Wを回転させない場合には基板の半径方向にゆるやかに変化するN濃度分布が得られるのに対し、前記基板Wを回転させた場合には、図32(B)に示すように非常に様なN濃度分布が得られるのがわかる。

【0110】図31(A)、(B)の基板処理装置100では、前記被処理基板を回転させた場合に図32

(B)に示す様なN濃度分布が得られるように、前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>を前記処理容器91上に、図31(A)、(B)中において矢印で示したように、変位可能に装着されており、前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>は図32(B)のような様なN濃度分布が得られる最適な位置において前記処理容器91上に固定されている。

【0111】図33は、かかる最適位置を求める手順を示すフローチャートである。

【0112】図33を参照するに、最初にステップ11において被処理基板上の任意の位置がリモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>に対して指定され、前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>が前記指定位置において前記処理容器91上に固定される。次にステップ22において前記基板処理装置100中に被処理基板Wを導入し、前記被処理基板Wを回転させながら前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>を駆動することにより、SiON膜を形成する。さらに、前記ステップ21およびステップ22を繰り返すことにより、各繰り返し毎に、新たな被処理基板W上に前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>の位置をずらした状態でSiON膜を形成する。

【0113】さらにステップ23において各実験で得られたSiON膜のN濃度分布を評価し、ステップ24において濃度分布の変動が最小となる最適位置を前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>について見出す。

【0114】図34は、このように前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>を前記処理容器91上に変位可能に装着する機構を示す。ただし図34中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0115】図34を参照するに、前記本体93Aには前記処理容器91の外壁と係合する装着フランジ93cが形成されており、前記本体93Aは前記処理容器91に、前記装着フランジ93cをネジ孔93Eにおいてネジ93Fによりねじ止めすることにより固定される。その際、図34の構成では前記ネジ孔93Eを前記ネジ93Fよりも大きく形成することにより、前記ネジ93Fをゆるめた状態で前記本体93Aを矢印の方向に移動させることが可能である。

【0116】図34の構成において、前記ネジ93Fおよびネジ孔93Eを省略し、前記フランジ93cを前記処理容器91の外壁に対して摺動可能に形成することもできる。

【0117】さらに本実施例では、図33のリモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>の位置についての最適化に続き、図35に示すように駆動パワーの最適化がなされる。

【0118】図35を参照するに、最初にステップ31において図33の手順により探索された最適位置が前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>に対して指定され、次にステップ32において前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>の駆動エネルギーが指定される。さらにステップ33において前記基板処理装置100中に被処理基板Wを導入し、前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>を前記被処理基板W上の指定されたそれぞれの最適位置において、ステップ32により指定された駆動エネルギーで駆動し、SiON膜を形成する。さらに、前記ステップ32およびステップ33を繰り返すことにより、各繰り返し毎に、新たな被処理基板W上に前記駆動エネルギーをずらした状態でSiON膜を形成する。

【0119】さらにステップ34において各実験で得られたSiON膜中の窒素濃度分布を評価し、濃度変動が最小となる最適駆動エネルギーを、前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>および93<sub>2</sub>について見出す。さらにステップ35において、かかる最適駆動エネルギーにおいて膜形成がなされるように、前記基板処理装置100のリモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>を制御するプログラムを決定する。

【0120】図36は、前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>の駆動回路95の構成を示す。

【0121】図36を参照するに、駆動回路95はマイクロ波電源95Aにより駆動されるマイクロ波発生器95Bを含み、前記マイクロ波発生器95Bで形成された典型的には周波数が2.45GHzのマイクロ波が導波管95Cを通してインピーダンス整合器95Dに供給され、さらに前記アンテナ93Bに供給される。前記駆動回路95はさらに前記インピーダンス整合器95Dのインピーダンスを前記アンテナ93Bのインピーダンスに整合させる同調回路95Eを備えている。

【0122】かかる構成の駆動回路95では、図35のステップ32において、前記マイクロ波発生器95Bを制御することにより、前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>の駆動エネルギーを最適化することが可能である。

【0123】図37(A)、(B)は、本実施例の一変形例による基板処理装置100Aの構成を示す。ただし図37(B)は図37(A)の一部を拡大した拡大断面図である。

【0124】図37(A)、(B)を参照するに、本実施例では前記基板処理容器91上にはフランジ部96Aおよび96Bを有するペローズ96が前記フランジ部96Aにより装着され、さらに前記ペローズ96上には前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>あるいは93<sub>2</sub>の本体93Aが、前記装着フランジ93cをフランジ96Bに係合させることにより装着されている。

【0125】かかる構成の基板処理装置100Aでは、前記リモートプラズマ源の前記被処理基板Wに対する角度を、前記ベローズ96を变形することにより変化させることが可能で、従って先に説明した図33の工程において、前記最適位置の決定の変わりに、最適角度を前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>に対して決定することも可能である。

【0126】図38は本実施例のさらに別の変形例による基板処理装置100Bを示す。ただし図38中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0127】図38を参照するに、基板処理装置100Bでは前記リモートプラズマ源93<sub>1</sub>、93<sub>2</sub>に加えて第3のリモートプラズマ源93<sub>3</sub>が、同様に矢印で示すように変位可能に設けられている。本発明はこのような3つ以上のリモートプラズマ源を有する基板処理装置に対しても有効である。また、本発明は単一のリモートプラズマ源のみを有する基板処理装置に対しても有効である。

【0128】また本実施例は表面にSiO<sub>2</sub>膜を形成したSi基板の窒化反応によるSiON膜の形成のみならず、酸化反応によるSiO<sub>2</sub>膜の形成やSiN膜の形成、さらにプラズマCVD法によるTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜、ZrO<sub>2</sub>膜、HfO<sub>2</sub>膜、ZrSiO<sub>4</sub>、HfSiO<sub>4</sub>膜等の高誘電体膜の形成にも有効である。

【0129】以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において、様々な変形・変更が可能である。

【0130】

【発明の効果】本発明によれば、基板と高誘電体ゲート絶縁膜との間に酸化膜を形成するための基板処理装置において、前記基板表面に酸素を含有する処理ガスを供給するガス供給手段と、前記基板表面に紫外線を照射し、前記処理ガスを活性化する紫外線源と、前記紫外線源を、前記基板表面上の所定の高さにおいて動かす光源移動機構とを設けることにより、前記基板表面への前記紫外線光源からの紫外線の照射を最適に行うことができ、前記基板上に、非常に薄い酸化膜を、一様な厚さに形成することが可能になる。また本発明によれば、リモートプラズマを使った基板処理装置において、リモートプラズマ源の状態を最適化することにより、一様な膜質の絶縁膜を形成することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】高誘電体ゲート絶縁膜を有する半導体装置の構成を示す図である。

【図2】本発明の原理を説明する図である。

【図3】本発明の第1実施例による基板処理装置の構成を示す図である。

【図4】(A)～(C)は、図3の基板処理装置を使っ

て形成した酸化膜の膜厚分布を示す図である。

【図5】図3の基板処理装置を使って形成した酸化膜について、処理時間と膜厚との関係を示す図である。

【図6】(A)～(E)は、図3の基板処理装置を使って形成した酸化膜の膜厚分布を示す別の図である。

【図7】(A)～(E)は、図3の基板処理装置を使って形成した酸化膜の膜厚分布を示すさらに別の図である。

【図8】(A)、(B)は、比較対照例による酸化膜の膜厚分布を示す図である。

【図9】本発明第1実施例による最適走査領域決定手順を示すフローチャートである。

【図10】本発明第1実施例による最適光源駆動エネルギー決定手順を示すフローチャートである。

【図11】本発明の第2実施例によるクラスタ型基板処理装置の構成を示す図である。

【図12】本発明の第3実施例によるクラスタ型基板処理装置の構成を示す図である。

【図13】図13の基板処理装置により製造される半導体装置の構成を示す図である。

【図14】図3の基板処理装置の一変形例を示す図である。

【図15】(A)、(B)は図3の基板処理装置の別の変形例を示す図である。

【図16】図3の基板処理装置のさらに別の変形例を示す図である。

【図17】本発明の第4実施例による紫外線活性化酸化処理工程による酸化膜の膜厚と紫外線照射量との関係を示す図である。

【図18】(A)～(F)は、図17の実験において得られた各試料について、基板上における酸化膜の膜厚分布を示す図である。

【図19】図17の階段状パターンの発生機構を説明する図である。

【図20】(A)、(B)は図16の基板処理装置を300mm径ウェハに適用した場合の被処理基板上における紫外線照射強度分布を示す図である。

【図21】(A)、(B)は本発明の第5実施例による基板処理装置および紫外線照射強度分布を示す図である。

【図22】本発明の第6実施例による基板処理装置の構成を示す図である。

【図23】図22の基板処理装置における紫外線照射強度分布を示す図である。

【図24】本発明の第7実施例による基板処理装置の構成を示す図である。

【図25】図24の基板処理装置における紫外線照射強度分布を示す図である。

【図26】本発明の第8実施例による基板処理装置の構成を示す図である。

【図27】図26の基板処理装置の一部を拡大して示す斜視図である。

【図28】図26の基板処理装置における紫外光照射強度分布を示す図である。

【図29】(A)、(B)は、リモートプラズマ源を使った従来の基板処理装置の構成およびその問題点を示す図である。

【図30】従来のリモートプラズマ源の構成を示す図である。

【図31】(A)、(B)は、本発明の第9実施例による基板処理装置の構成を示す図である。

【図32】(A)、(B)は、図31(A)、(B)の基板処理装置において行った基板処理の例を示す図である。

【図33】図31(A)、(B)の基板処理装置の最適化手順を示す図である。

【図34】図33の最適化を行うために設けられる機構を示す図である。

【図35】図31(A)、(B)の基板処理装置の最適化手順を示す別の図である。

【図36】図35の最適化を行うための構成を示す図である。

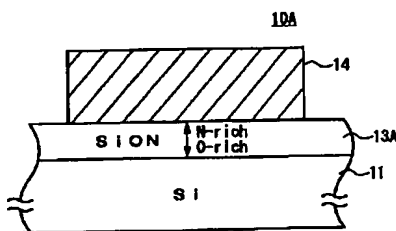
【図37】(A)、(B)は、本発明第9実施例の一変形例を示す図である。

【図38】本発明第9実施例の別の変形例を示す図である。

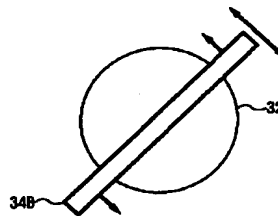
#### 【符号の説明】

10, 10A 半導体装置  
11 Si基板  
12 ベース酸化膜  
13 高誘電体ゲート絶縁膜  
13A SiONゲート絶縁膜  
14 ゲート電極  
20, 30, 30<sub>1</sub>, 50, 60, 70, 80, 90, 90A, 90B 基板処理装置  
21, 31, 91 処理容器  
21A, 31A, 92 基板保持台  
21a, 31a, 94 ヒータ  
21B, 31B シャワーヘッド  
21C, 31D 光学窓

【図13】

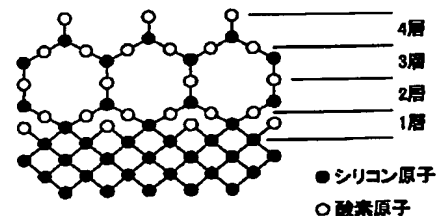


【図14】

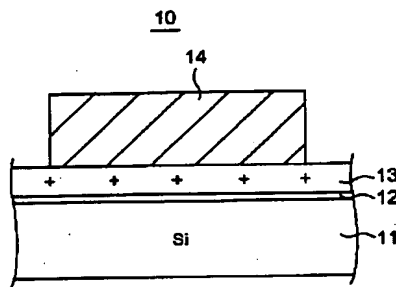


\* 22, 32, W 被処理基板  
23 紫外光源  
31B' O<sub>2</sub>供給ライン  
31C, 91A 排気口  
33 結合部  
33A, 34b, 34c 不活性ガス供給ライン  
34 紫外光露光装置  
34A 光学窓  
34B, 34B' 紫外光源  
34C ロボット  
34D 空間  
34E 排気口  
34F 遮蔽板  
35 制御装置  
40, 40A 基板処理システム  
41 ロードロック室  
42 前処理室  
43 酸化膜形成処理室  
44 CVD室  
20 44A プラズマ室化処理室  
45 冷却室  
46 真空搬送室  
93, 93<sub>1</sub>, 93<sub>2</sub>, 93<sub>3</sub> リモートプラズマ源  
93A 本体  
93B アンテナ  
93C 石英拡散板  
93D マグネット  
93E ネジ孔  
93F 装着ネジ  
30 93a ガス導入口  
93b 石英ライニング  
93c 装着フランジ  
95 駆動回路  
95A マイクロ波電源  
95B マイクロ波発生装置  
95C 導波管  
95D インピーダンス整合器  
95E 同調回路  
96 ベローズ  
\* 40 96A, 96B フランジ

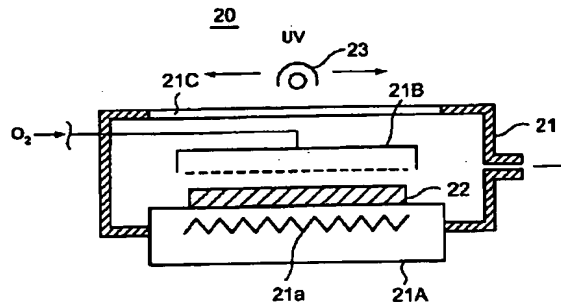
【図19】



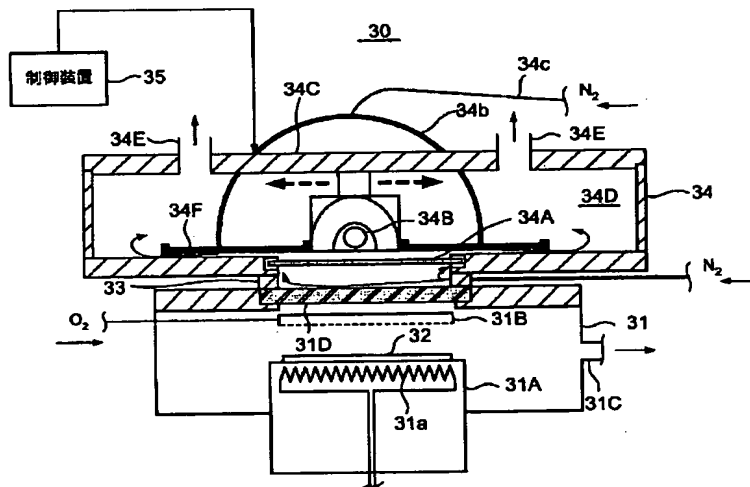
【図1】



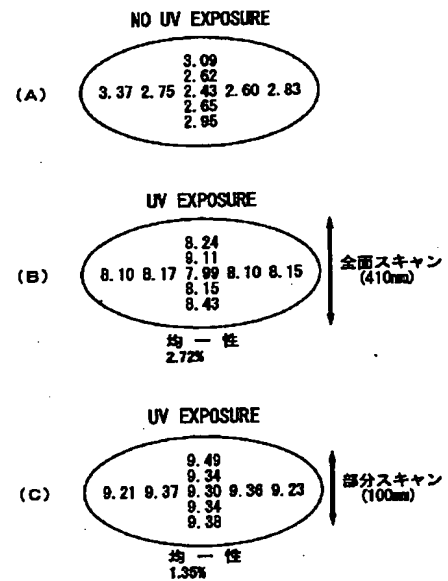
【図2】



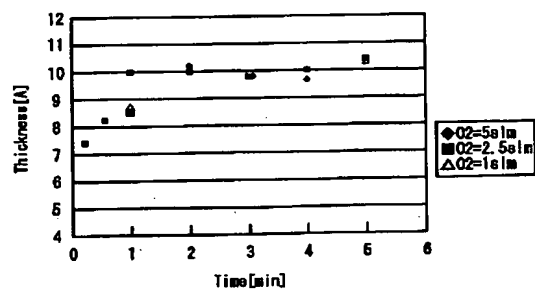
【図3】



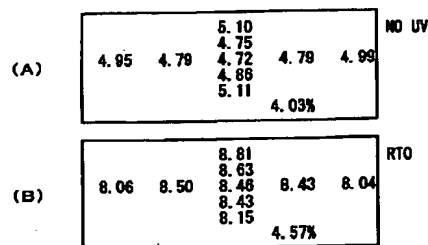
【図4】



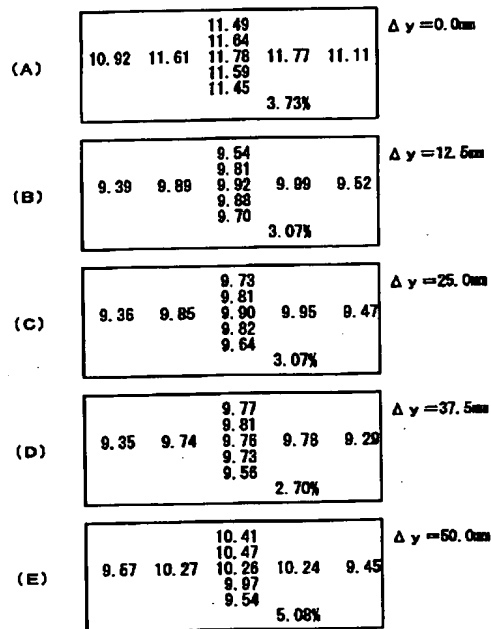
【図5】



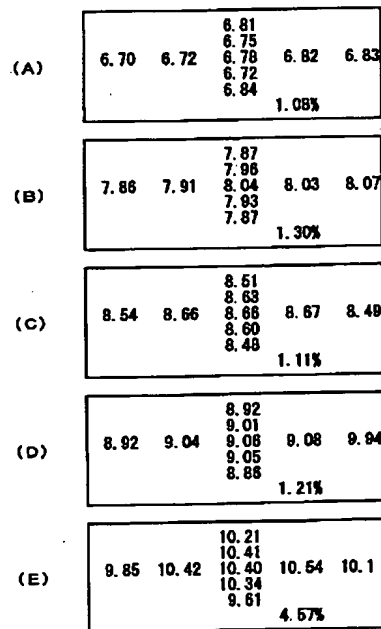
【図8】



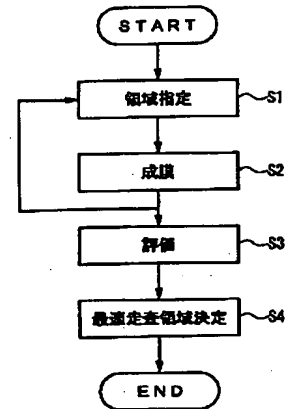
【図6】



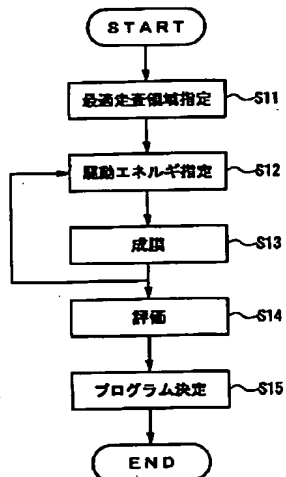
【図7】



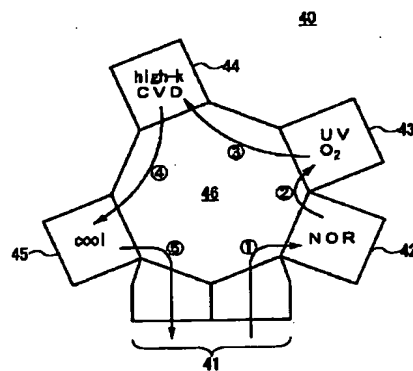
【図9】



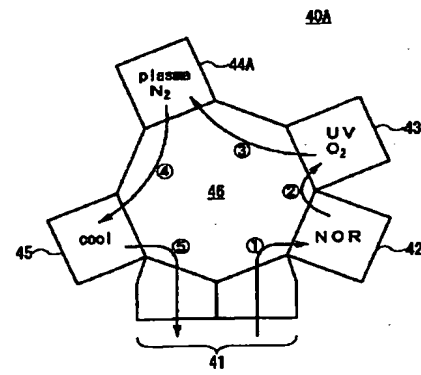
【図10】



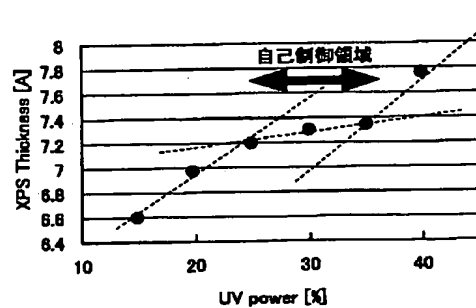
【図11】



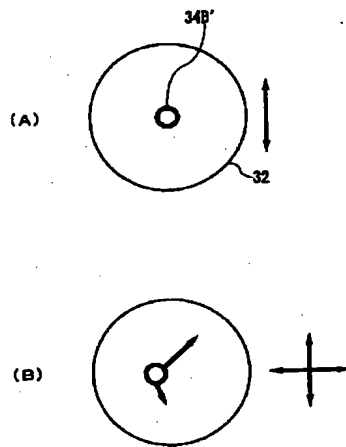
【図12】



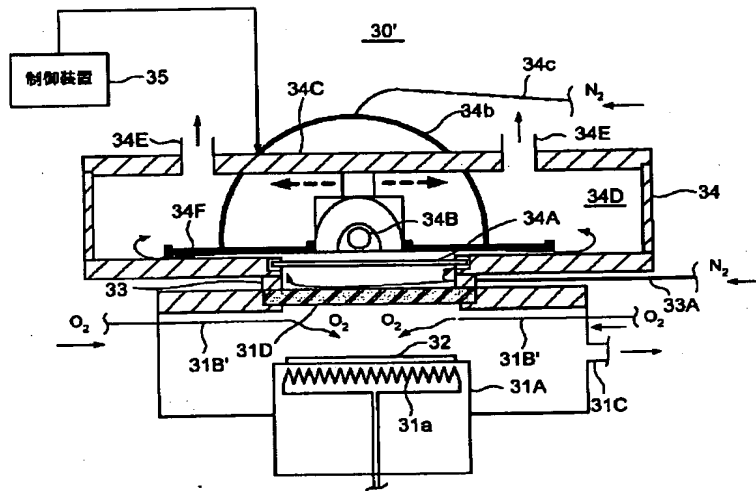
【図17】



【図15】



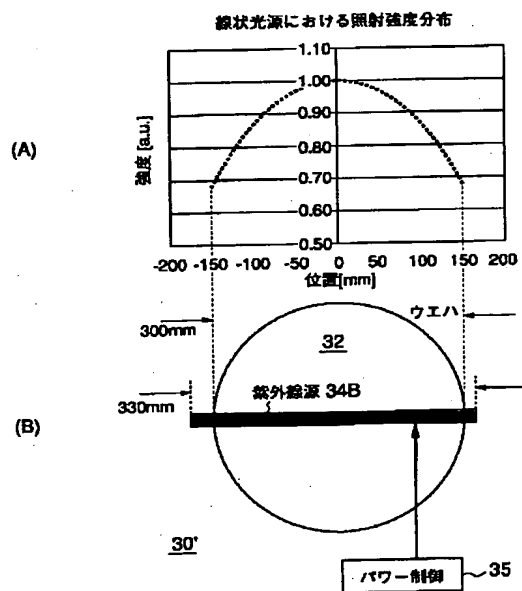
【図16】



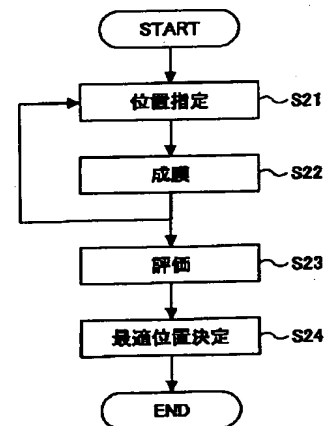
【図18】

(A)	Pwr 15%									
	7.29	7.28	7.45	7.42	7.37	7.43	7.29	7.36	7.31	1.10%
(B)	Pwr 20%									
	7.84	7.89	7.83	7.88	7.86	7.9	7.79	7.81	7.78	1.70%
(C)	Pwr 25%									
	8.16	8.16	8.18	8.15	8.2	8.14	8.14	8.14	-	3.03%
(D)	Pwr 30%									
	8.42	8.43	8.38	8.52	8.42	8.48	8.3	8.42	8.43	1.31%
(E)	Pwr 35%									
	8.41	8.46	8.46	8.6	8.57	8.6	8.43	8.5	8.62	1.21%
(F)	Pwr 40%									
	9.02	9.22	9.12	9.23	9.28	9.34	9.11	9.29	9.09	1.74%

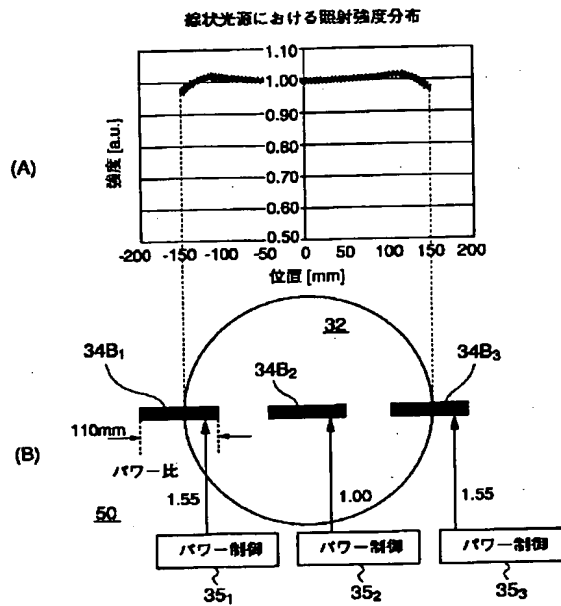
【図20】



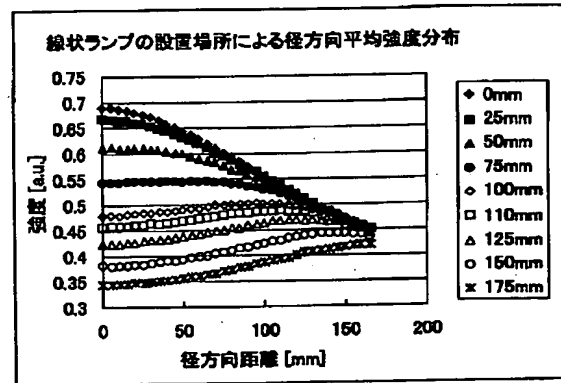
【図33】



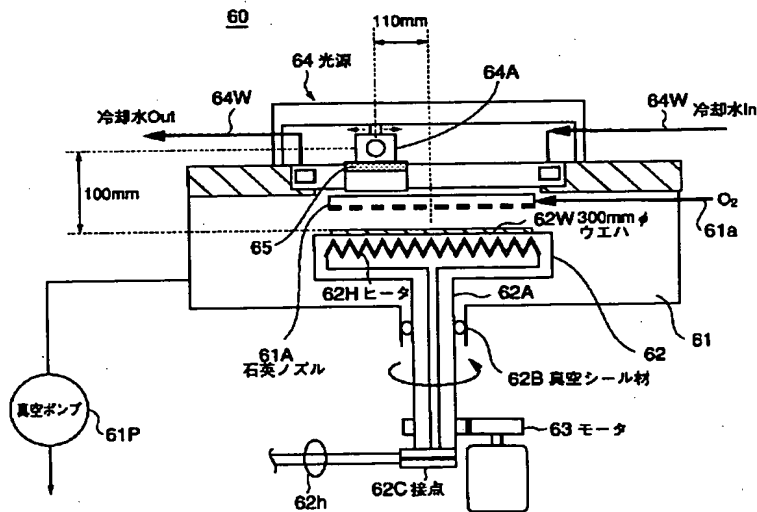
【図21】



【図23】



【図22】



【図35】

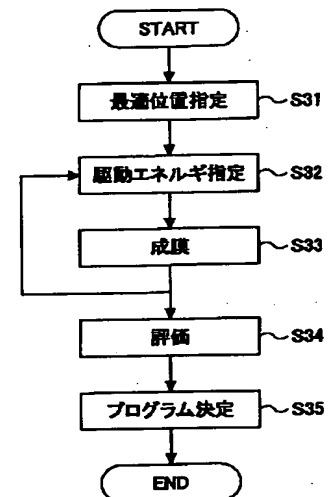
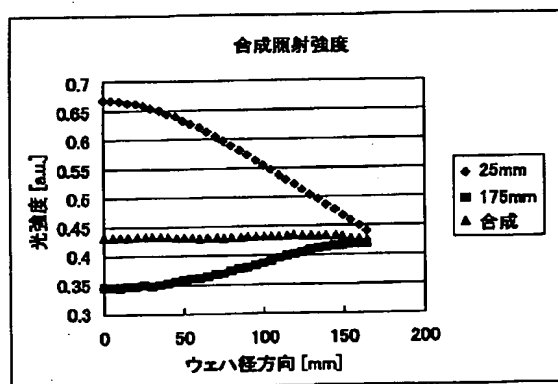
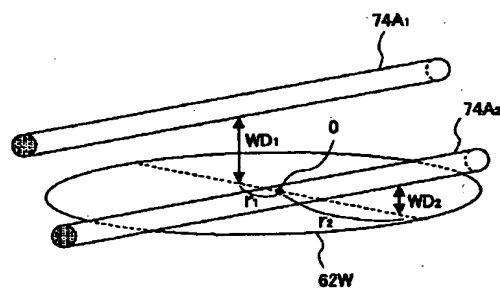
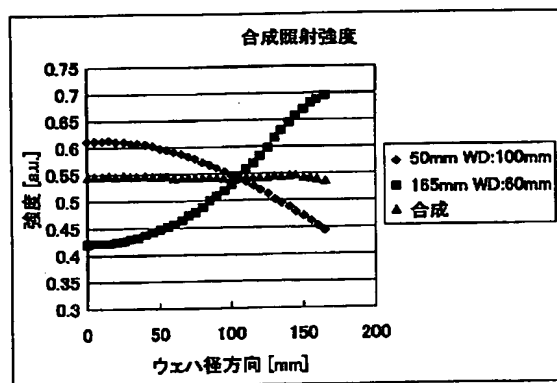


Fig. 70 is a schematic diagram of a vacuum furnace system. The diagram shows a cross-section of a furnace chamber (61) with a quartz nozzle (61A) at the top. Inside the chamber, there is a heater (62H) and a sample holder (62B) containing a sample (62C). A vacuum pump (61P) is connected to the chamber via a vacuum seal (62B) and a joint (62C). The system is controlled by a power supply (74A1, 74A2) and a power controller (74B). Cooling water (64W) is circulated through the chamber walls. Dimensions are indicated: 175mm for the chamber height, 25mm for the nozzle diameter, and 100mm for the chamber width.

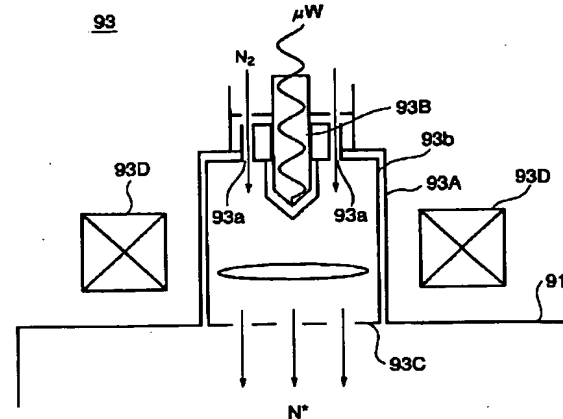
【图 27】



【圖 28】



【圖30】





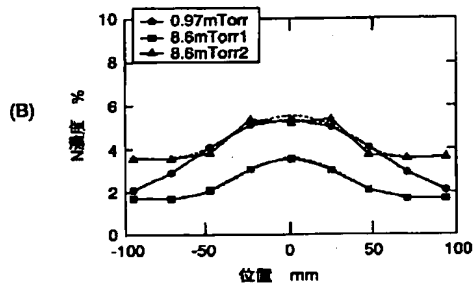
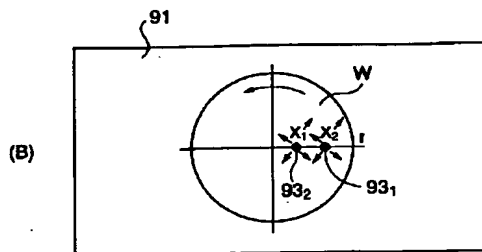
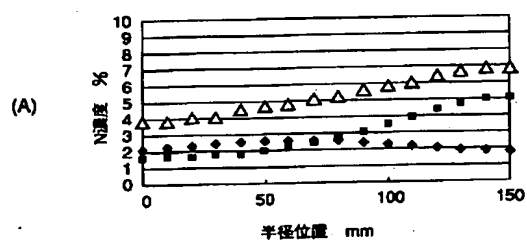
[illegible]

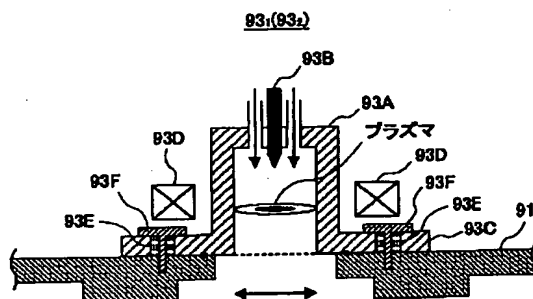
Figure 1 is a cross-sectional view of a semiconductor device 100. The device includes a substrate 91 with a layer 92 and a layer 94. Nitrogen gas (N<sub>2</sub>) is introduced through openings 931 and 932 at positions X<sub>1</sub> and X<sub>2</sub>. A layer 91A is shown on the right side.



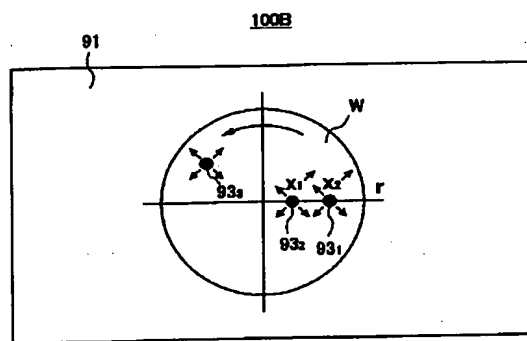
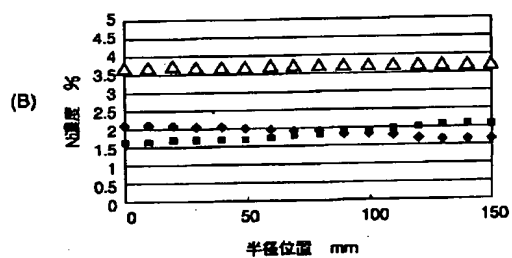
【図32】



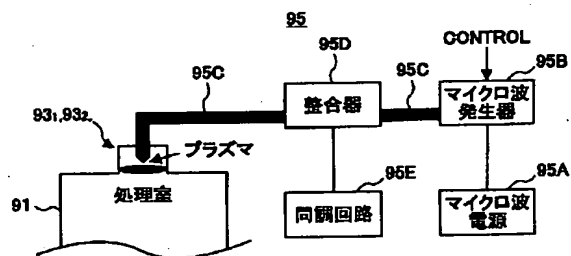
【図34】



【図38】



【図36】

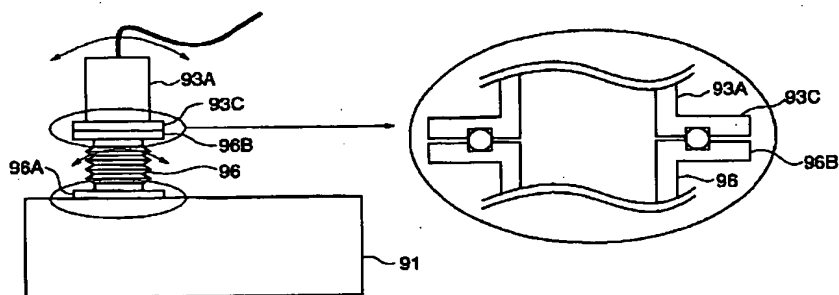


【図37】

(A)

(B)

100A



フロントページの続き

(72)発明者 井下田 真信

東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放  
送センター 東京エレクトロン株式会社内

Fターム(参考) 5F040 DA01 ED01 ED03

5F045 AA13 AB32 AC11 AD08 AE21

AF03 DC51 DP03 DQ10 EF05

EK07

5F058 BD01 BD04 BD18 BF02 BF73

BF78 BG03 BJ01